

# НАЦИОНАЛНА НАУЧНА ПРОГРАМА

## „ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА И НАМАЛЯВАНЕ НА РИСКА ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ ЯВЛЕНИЯ И ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ“

### РЕЗУЛТАТИ И ПОСТИЖЕНИЯ



#### ПАРТНЬОРИ:

Българска академия  
на науките



Химикотехнологичен и  
металургичен университет

Софийски университет  
“Св. Климент Охридски”



Лесотехнически университет –  
София

Селскостопанска  
академия



Университет по архитектура,  
строителство и геодезия

Минно-геоложки  
университет  
“Св. Иван Рилски



Технически университет –  
София



Национален център  
по обществено здраве  
и анализи

**АЗ·БУКИ**

Национално издателство за наука и образование „Аз-буки“  
Министерството на образованието и науката

2024

---

### **Благодарности:**

*Настоящите изследвания са проведени във връзка с изпълнението на Национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и финансирана от МОН (Споразумение № Д01-27/06.02.2024).*

### **Acknowledgements:**

*This work has been carried out in the framework of the National Science Program “Environmental Protection and Reduction of Risks of Adverse Events and Natural Disasters”, approved by the Resolution of the Council of Ministers № 577/17.08.2018 and supported by the Ministry of Education and Science (MES) of Bulgaria (Agreement № Д01-27/06.02.2024).*

### **Редактори:**

**Чл.-кор. проф. д.н. Костадин Ганев**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география при  
Българската академия на науките*

**Проф. д-р Боян Кулов**

*Институт за изследване на климата, атмосферата и водите при  
Българската академия на науките*

**Стилист-коректор – Анелия Врачева**

**Предпечат: Национално издателство „Азбуки“**

**Снимка корица - Pixabay**

**Печат: M&BM ООД**

**ISBN 978-619-7667-71-4**



---

## СЪДЪРЖАНИЕ

- 5 УВОД
- 9 РЕГИОНАЛНИ/ЛОКАЛНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
НА КЛИМАТА НА СТРАНАТА
- 10 ВОДЕН БАЛАНС И ВОДНИ РЕСУРСИ НА СТРАНАТА
- 87 КАЧЕСТВА НА НАЦИОНАЛНИТЕ ВОДНИ РЕСУРСИ  
(ПОВЪРХНОСТНИ И ПОДЗЕМНИ)
- 129 ПРОЦЕСИ, КАЧЕСТВО НА МОРСКАТА СРЕДА,  
ЕКОСИСТЕМНИ ФУНКЦИИ И УСЛУГИ В  
КРАЙБРЕЖНАТА ЗОНА И БЪЛГАРСКАТА  
ИКОНОМИЧЕСКА ЗОНА НА ЧЕРНО МОРЕ
- 166 КАЧЕСТВОТО НА ЖИВОТ В СТРАНАТА
- 211 МОДЕЛИ НА ПРОМЯНА НА ЕКОСИСТЕМИТЕ  
В РЕЗУЛТАТ НА КАТАСТРОФАЛНИ СЪБИТИЯ  
В МИНАЛОТО - КЛЮЧ КЪМ РАЗБИРАНЕ НА  
НАСТОЯЩИ И БЪДЕЩИ ЗАПЛАХИ ЗА ПЛАНЕТАТА
- 238 БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ЕКОСИСТЕМНИ ФУНКЦИИ И  
КАЧЕСТВО НА ЖИЗНЕНАТА СРЕДА
- 265 ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА  
ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ/КАТАСТРОФАЛНИ  
АТМОСФЕРНИ  
И ХИДРОСФЕРНИ ЯВЛЕНИЯ
- 300 ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ/  
КАТАСТРОФАЛНИ ГЕОЛОЖКИ (ВКЛ.  
ХИДРОГЕОЛОЖКИ) ЯВЛЕНИЯ
- 337 ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТИТЕ ОТ КАТАСТРОФАЛНИ  
ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯТА ОТ ТЯХ

- 
- 365 СЪЗДАВАНЕ НА ЕДИННА ГЕОИНФОРМАЦИОННА СРЕДА ЗА ИНФОРМАЦИОННО ОБЕЗПЕЧАВАНЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА В ННП „ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА И НАМАЛЯВАНЕ НА РИСКА ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ ЯВЛЕНИЯ И ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ“
- 419 ПУБЛИЧНО ПРЕДСТАВЯНЕ И КОМУНИКАЦИЯ НА ПОЛУЧЕНИТЕ НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ В ОБЩЕСТВОТО (ПОЕТАПНО И СЛЕД КРАЯ НА ПРОГРАМАТА)
- 432 ПУБЛИКУВАНИ СТАТИИ В ПЕРИОДИЧНИ НАУЧНИ СПИСАНИЯ И ПОРЕДИЦИ ПРЕЗ ПЕРИОДА ЯНУАРИ 2019-ДЕКЕМВРИ 2024 Г. В КВАРТИЛИ Q1 И Q2 НА SJR
- 446 ИЗПЪЛНИТЕЛЕН СЪВЕТ НА НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА
- 447 РЪКОВОДИТЕЛИ НА РАБОТНИ ПАКЕТИ И ОТГОВОРНИЦИ НА НАУЧНИ ЗАДАЧИ НА НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА
- 455 УЧАСТНИЦИ В НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА
- 466 СПИСЪК НА РЕЦЕНЗЕНТИТЕ ПО РАБОТНИ ПАКЕТИ НА НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА

## УВОД

Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ беше иницирана с Постановление на МС No 577/17.08.2018.

В заглавието на Програмата има две ключови словосъчетания, а именно „околна среда“ и „неблагоприятни явления и природни бедствия“. В контекста на Програмата тези словосъчетания означават следното:

**Околната среда:** атмосфера, хидросфера, литосфера, криосфера, биосфера, техно- и социосфера (разгледана и в контекста на очакваните климатични промени).

### **Неблагоприятни явления и природни бедствия:**

- засушавания, бури, градушки, наводнения, пожари, морски вълнения, ерозия на почвите, вредители;
- земетресения, движения по активни разломи, свлачища, срутища, кално-каменни порои, техногенни замърсявания от производствени, транспортни, битови, сондажни и минни дейности;
- съществено влошаване на качеството на климата, въздуха, водите, почвите и тяхното влияние върху качеството на живот, общественото здраве и състоянието на екосистемите и екосистемните услуги.

Това е мащабна 6-годишна програма с бюджет от 6 000 000 лв., която обединява изследователските усилия на учени от следните организации:

- Българска академия на науките, включително Националния институт по геофизика, геодезия и география; Института за гората; Института по електроника „Академик Емил Джаков“; Геологическия институт „Ст. Димитров“; Института по океанология „Проф. Фритъф Нансен“; Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания; Института по механика; Института по информационни и комуникационни технологии; Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика; Института по физиология на растенията; Института за изследване на климата, атмосферата и водите; Института по обща и неорганична химия, Центъра за изследване на националната сигурност и отбрана.

- Софийски университет „Св. Климент Охридски“
- Селскостопанска академия
- Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“
- Химикотехнологичен и металургичен университет
- Лесотехнически университет – София
- Университет по архитектура, строителство и геодезия.

**Основната цел** на Програмата е провеждане на фундаментални и приложни научните изследвания, насочени към осигуряване на устойчива, благоприятна и по-безопасна среда на живот за населението на Република България.

За постигане на основната цел са поставени следните **конкретни (специфични) цели**:

**1. Провеждане на насочени фундаментални изследвания:** разработване или усвояване на *методики* и *провеждане на надеждни, изчерпателни и детайлни* изследвания на:

- пространствено-времето многообразие на параметрите и характеристиките на приземната атмосфера и влиянието им върху качеството на живот, здравния риск и състоянието на екосистемите;
- качество на водите (включително подземни и морски) и влиянието им върху качеството на живот, здравния риск и състоянието на екосистемите;
- качество на градската среда (сгради, транспортна и техническа инфраструктура, зелени площи, обществени открити пространства и население) и нейното влияние върху качеството на живот, здравния риск и състоянието на екосистемите;
- повтаряемост във времето и геопространствено разпределение на екстремни, неблагоприятни и катастрофални природни явления и връзката им с крупномасштабните атмосферни процеси и климатични промени; оценка на риска от тях и на възможностите за прогнозиране, ранно предупреждение и евентуална превенция;
- геоложка среда и геоложки рискове (движения по активни разломи, свлачища, срутища, кално-каменни порои, техногенни замърсявания от сондажни и минни дейности) – повтаряемост и пространствено разпределение; оценка на възможностите за прогнозиране, ранно

предупреждение и превенция;

- рискове за биоразнообразието и функционирането на екосистемите като компонент на устойчива и благоприятна жизнена среда;
- реакция и адаптиране на екосистемите към екстремни, неблагоприятни и катастрофални природни явления в геоложкото минало (глобални затопляния и застудявания, сблъсък с космически тела, глобални аноксични събития и др.) – ключ към разбиране на настоящите и надеждно прогнозиране на бъдещи промени.

**2. Провеждане на приложни изследвания:** на основата на знанията, генерирани от насочените фундаментални изследвания, там където е възможно, ще бъдат разработени:

- системи за прогнозиране на неблагоприятни и катастрофални природни явления;
- системи за ранно предупреждение при бедствия;
- системи за подпомагане на действията при катастрофални явления и бедствия;
- дългосрочни стратегии и набор от мерки за превенция и преодоляване на неблагоприятни и катастрофални явления;
- запълване на пропуски в познанията за механизмите на загуба на биоразнообразие и екосистемни функции в България и в Черно море в условията на климатични промени и екстремални природни явления и техните взаимодействия с локалните човешки дейности; възможните пътища за смекчаване на негативните въздействия и адаптиране към тях.

**3. Повишаване квалификацията на учени, особено на млади учени и изследователи, и обезпечаване на съвременна научноизследователска инфраструктура.**

**4. Разпространение на резултатите от научноизследователската дейност.**

**5. Трансфер на знания към съответните управленски органи (разработване на научно обосновани стратегии, програми, политики и мерки за устойчиво управление), както и към образователната сфера – висше и средно образование.**

**6. Стимулиране на мултидисциплинарни и международни парт-**

**ньорства между изследователски екипи с различна научна насоченост.**

**Основните дейности**, извършвани в изпълнение целите на Програмата, бяха следните.

- Изграждане, организиране и поддръжка на бази данни.
- Избор на модели, инструменти и метрики за изучаване на регионалните явления и процеси в литосферата, атмосферата, хидросферата, биосферата и качеството на живот. Проверка и настройване на избраните модели и инструменти.
- Полеви и лабораторни изследвания
- Компютърни симулации.
- Анализ и обобщение на данните от компютърните симулации, полевите и лабораторните изследвания.

Програмата е пред завършване и вече може да се отчете, че поставените изследователски цели са постигнати. Наред с това тя изигра съществена роля за повишаване квалификацията на младите учени и изследователи и обезпечаване на съвременна научноизследователска инфраструктура; за разпространение на резултатите от научноизследователската дейност; за трансфер на знания към съответните управленски органи и стимулиране на мултидисциплинарни и международни контакти и партньорства.

**Колективът на Национална научна програма „ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА И НАМАЛЯВАНЕ НА РИСКА ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ ЯВЛЕНИЯ И ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ“** изказва благодарност на Министерството на образованието и науката, което иницира и финансира Програмата.

**Чл.-кор. проф. д.н. Костадин Ганев**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география –*

*Българска академия на науките*

**Проф. д-р Боян Кулов**

*Институт за изследване на климата, атмосферата и водите –*

*Българска академия на науките*

## РЕГИОНАЛНИ/ЛОКАЛНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА КЛИМАТА НА СТРАНАТА

Проф. д-р Георги Гаджев, доц. д-р Владимир Иванов –  
*Национален институт по геофизика, геодезия и география –  
Българска академия на науките*

Проф. д-р Маргарита Георгиева, чл.-кор. Георги Георгиев, проф. д-р  
Миглена Жиянски, гл. ас. д-р Ели Павлова-Трайкова, доц. д-р Груд  
Попов, доц. д-р Веселка Гюлева-Пантова –  
*Институт за гората – Българска академия на науките,*  
доц. д-р Момчил Панайотов  
*Лесотехнически университет*

### Основни цели и задачи, обекти на изследване

Една от основните цели на проведените изследвания в първия, а от части би могло да се каже и в основния работен пакет в Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, бе обезпечаването на някои от другите работни пакети с климатични данни, като например РП I.2, РП I.5, РП I.8 и РП I.9. За изпълнението на тази цел бе нужно създаване на бази с данни за оценка и анализ на въздействията на текущия и бъдещите регионални/локални климати на Балканския полуостров и страната от компютърно моделирани глобални и регионални климатични модели, както и от наблюдения.

Друга основна цел е да се изготви съответната климатология на екстремни, неблагоприятни и катастрофални явления (засушавания, бури, градушки, наводнения, морски вълнения и т.н.) с тяхната пространствена и времева повторяемост и пространствено-временно, след анализа на генерираните от компютърните симулации бази данни и от световните бази данни на текущия и бъдещите регионални/локални климати.

Изследване Изследвано е въздействието на климатичните промени върху горските екосистеми, като в конкретния случай обекти на

изследване са водосборът на река Джерман, планините Пирин, Бела-сица и други горски местообитания. Като цяло на това изследване е да се проучат и оценят измененията на екологичните условия в горските екосистеми в резултат на климатични промени, да се изследват възможностите на дървесните видове за адаптация, да се установят заплахите от нападения от вредители и патогени, да се направи оценка на параметрите на вредоспособността им и вредното им въздействие и да се набележат мерки за смекчаване на щетите от тях.

Горските екосистеми са застрашени от различни природни въздействия от абиотичен и биотичен характер – горски пожари, ветровали, ветроломи, ледоломи, снеголоми, насекомни каламитети, гъбните епифитотии и др. Усилващото се антропогенно въздействие върху природната среда в условията на глобално изменение на климата се отразява върху честотата и интензивността на проявата на природните катаклизми, при което горските екосистеми губят своята устойчивост и стават по-податливи на повреди и деградация.

### **Изследователски методи**

Основните изследователски методи, използвани за изпълнение на част от дейностите в работния пакет, са провеждане на компютърни симулации с най-съвременните и световно признати климатични модели. Също така са проведени теренни и лабораторни измервания и изследвания, като всички резултати са обработени със статистически модели и след това са анализирани.

В рамките на Програмата се създаде база данни (от 21 масива) генерирани от проведените симулации с регионалния климатичен модел RegCM (<https://github.com/ICTP/RegCM>) при две хоризонтални резолюции – 20 x 20 km (Югоизточна Европа), 10 x 10 km (Черноморския басейн и страната) и 4 x 4 km (България). Трите експеримента са за следните периоди:

- 1975 – 2005 г. (референтен);
- 2021 – 2050 г. (близко бъдеще) за трите радиационни сценария RCP2.6 (оптимистичен), RCP4.5 (стабилизиращ) и RCP8.5 (песимистичен);
- 2070 – 2099 г. (далечно бъдеще) за трите радиационни сценария



RCP2.6 (оптимистичен), RCP4.5 (стабилизиращ) и RCP8.5 (песимистичен).

Базата данни представлява статистически значим ансамбъл от метеорологични полета, който се ползва с цел разкриване на основните типични и екстремни черти и явления, които характеризират бъдещите регионални/локални климати на страната с тяхната типична пространствено-времева повтораемост.

Изготвен е количествен анализ от базата данни на E-OBS версия 21.0e за периода 1950 – 2019 на:

- пълния набор от 27 ETCCDI климатични индекса на годишна база;
- пълния набор от 13 ETCCDI климатични индекса на месечна база;
- набор от допълнителни индикатори с фокус върху земеделието и горите.

В последната група трябва да се изтъкнат продължителността на вегетационния период при две прагови стойности – 5°C и 10°C (характеристичен за топлолюбивите растения в района).

## Дейности по Програмата

Описаните в тази глава дейности могат да се обобщят до следното.

***Провеждане на компютърни симулации и създаване на база данни за регионалния минал, текущ и проектиран климат.***

Това е една от най-времеемките задачи в работния пакет. Това се дължи на факта, че трябва да се организират не само места за изпълнение на компютърните симулации на моделите, но също така и да се намери сигурно и достатъчно голямо място за съхранение на генерирани данни.

Като пример, нужните компютърни ресурси за провеждането на числените симулации на **128** компютърни ядра (8 работни станции с по 16 ядра) на суперкомпютъра „Авитохол“ ([http://ict.acad.bg/?page\\_id=1229](http://ict.acad.bg/?page_id=1229)) са, както следва:

- **900** часа и **8ТВ** дисково пространство – Югоизточна Европа;
- **15200** часа и **28ТВ** дисково пространство – България.

Докато за компютърните симулации за Черноморския басейн са

използвани двойно повече ядра и те са проведени на общо 256 компютърни ядра (16 работни станции с по 16 ядра) отново на суперкомпютъра „Авитохол“ и необходимите компютърни ресурси са **7500** часа и **6ТВ** дисково пространство. Така генерираните бази данни за миналия и проектирания бъдещ климат се използват в изследвания не само от членовете на колектива в работен пакет I.1, но също така и от колективите в работните пакети РП I.2, РП I.5, РП I.8 и РП I.9.

В посоченото изчислително време не е калкулирано времето за обработка и анализ на генерираните бази данни, както и времето за сваляне и архивиране на свободно достъпните бази данни.

### *Проведените теренни изследвания бяха свързани с:*

– оценка на деградационните процеси в планинския водосбор на река Джерман от естествен и антропогенен тип;

– изследване на биологичната продуктивност и улавяне на въглерода в горите във връзка с климатичните промени;

– проучване на щетите от абиотичен характер и анализ на нападенията от вредители и патогени в горите на България във връзка с климатични промени:

- изследване на въздействията от абиотичен характер (урагани, снеголоми, снеговали, ледоломи и др.) върху горските екосистеми;

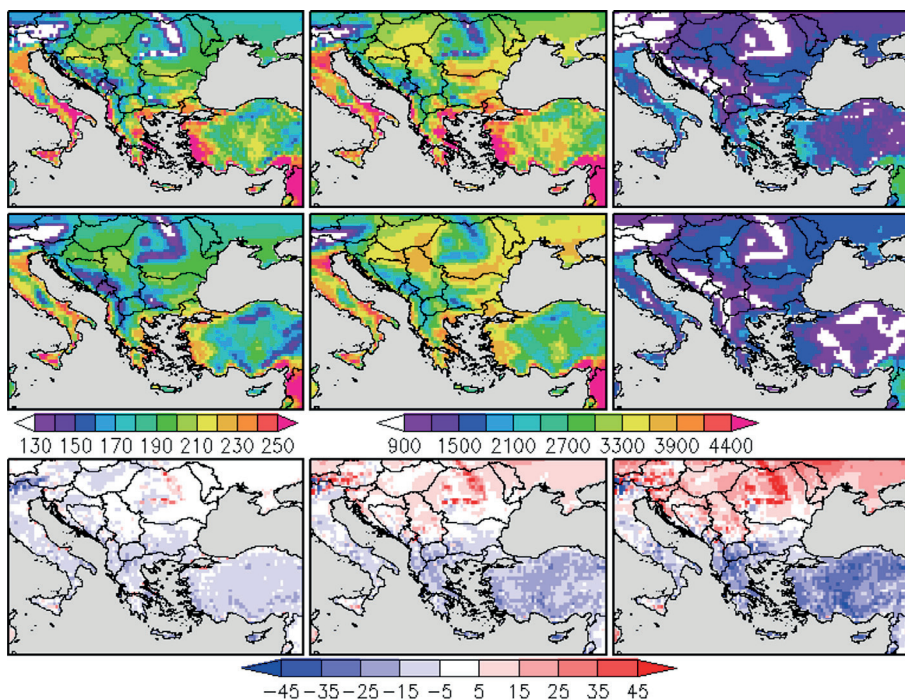
- изследване на нападения от насекомни вредители и гъбни патогени в горите на България.

– провеждане на лесовъдски подходи за адаптация на горските екосистеми към климатични промени.

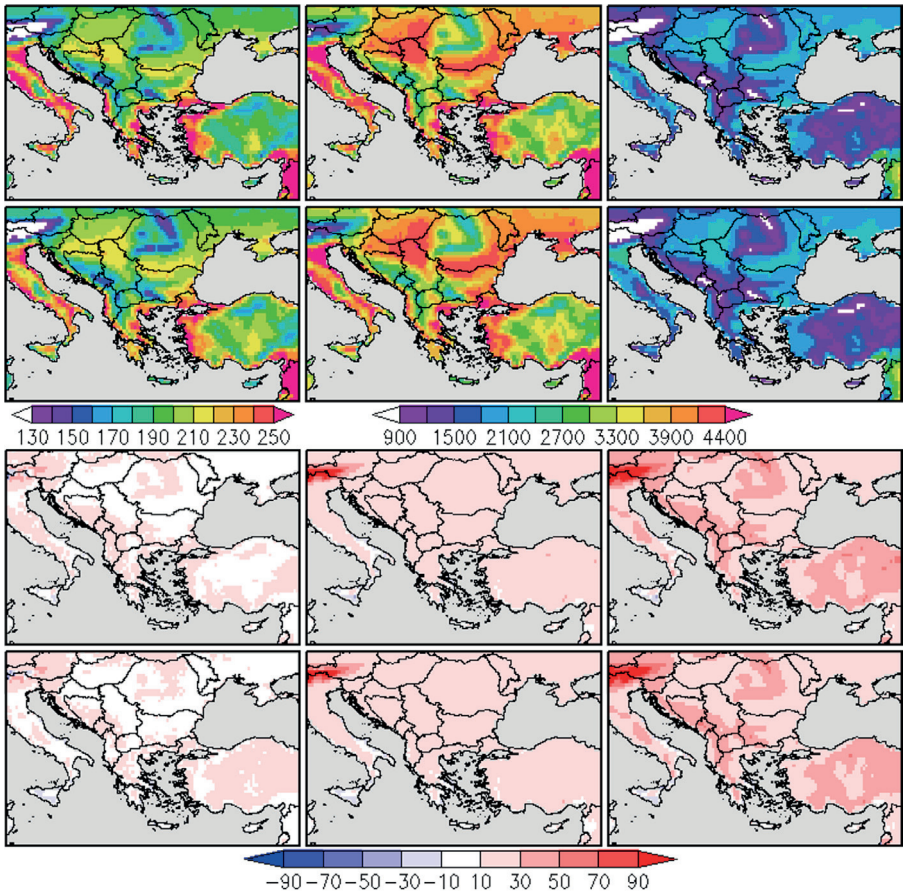
### **Получени резултати**

След проведените изследвания на базите данни за регионалния климат бяха анализирани и оценени продължителността на вегетационния период, които обхващат региона на Югоизточна Европа. Те Резултатите от изследванията отнасящи се отнасят за референтияен период са показани на (фиг. 1), за близко бъдеще (фиг. 2) и за далечно бъдеще (фиг. 3), по отношение на оптимистичния и стабилизиращия радиационен

сценарий. Като изходна стойност се използва осреднената стойност за съответния период на изследване. Поради географското местоположение на района е използвана втората прагова стойност. Пространствените характеристики на продължителността на вегетационния период кореспондират с климатичните особености на района и имат относително отклонение между -15% и 15% (фиг. 1).



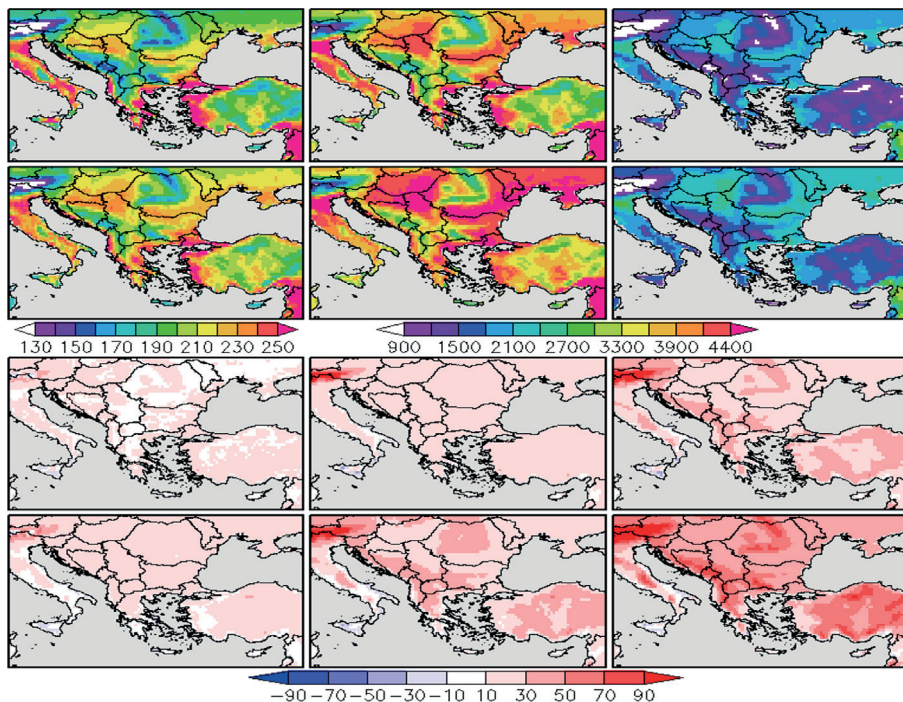
**Фигура 1.** Многогодишни средни стойности за периода 1975 – 2004 на вегетационен период в дни (лява графика), на температурните суми за активна (средна графика) и ефективна (дясна графика) температура (в градуси по Целзий) по данни от E-OBS (първи ред) и симулации с регионален климатичен модел RegCM (втори ред). На третия ред е дадено относителното отклонение на модела от наблюденията (E-OBS) в проценти



**Фигура 2.** Многогодишни средни стойности за периода 2021 – 2050 на вегетационен период в дни (лява графика), температурните суми на активната (средна графика) и ефективната (дясна графика) температура (в градуси по Целзий) от симулации с регионален климатичен модел RegCM за оптимистичен сценарий (първи ред) и реалистичен сценарий (втори ред). На трети и четвърти ред са дадени относителното отклонение на модела спрямо референтния период, съответно за оптимистичния и за стабилизация сценарий

За периода 2021 – 2050 г. се наблюдава почти идентично разпределение на отклонението при двата сценария в рамките между 10% и 30%,

с относително малко нарастване на площта на областите с такова от RCP2.6 към RCP4.5 (фиг. 2). Разликите в продължителността на вегетационния период между периодите 1975 – 2004 и 2071 – 2099 са по-големи, като това е по-съществено за сценария RCP4.5 (фиг. 3).



**Фигура 3.** Многогодишни средни стойности за периода 2070 – 2099 на вегетационен период в дни (лява графика), температурните суми активна (средна графика) и температурните суми ефективна (дясна графика) температура (в градуси по Целзий) от симулации с регионален климатичен модел RegCM за оптимистичен сценарий (първи ред) и реалистичен сценарий (втори ред). На трети и четвърти ред са дадени относителното отклонение на модела спрямо референтния период, съответно за оптимистичния и за стабилизиращия сценарий

Анализиран е генезисът на отклоненията от климатичните норми за засушаване и наводнения вследствие на въздействия от климатичен вид с изследване на специфични за проблематиката минали значими съби-



тия за условията на Р България. Установено е, че част от индикаторите, служещи за изследване на екстремните явления в различни дисциплини, например в метеорологичен и в хидроложки план, са теоретично идентични.

Отчетена е взаимовръзката между отделните елементи на хидроложкия цикъл и е направено интегрирано изследване по отношение на протичащите явления за избран район с минимален антропогенен натиск – района на гр. Тетевен, разположен по поречието на р. Бели Вит. Изследванията са извършени чрез индикатори, базирани на статистическите методи за оценка на времеви редове. Избраните елементи за изследване са валеж и речен отток за анализиране на взаимовръзката при диагностицираните процеси.

Изследвани и анализирани са въздействията и мерките за смекчаване, превенция и адаптация към климатичните изменения с приложение на устойчиво земеделие, иновативни мелиоративни практики и зелени решения при агроекосистемите за намаляване на свързаните негативни влияния.

Извършено е изследване по отношение на засушаването в агроекосистемите с въвеждане на нови показатели за диагностициране на началото и степента на засушаване. Тези показатели са част от новата биофизическа основа и аграрна екотехнология за текущ мониторинг, оценка и управление на водния статус на агроекосистемите. Показателите се изчисляват текущо с помощта на пълна метеорологична информация, която се получава за съответния аграрен район през три денонощия от станция за метеорологичен мониторинг.

Температурните суми за активна и ефективна температура са широко използвани агрометеорологични индикатори за фенологията и растежа на земеделски култури. Резултатите от изследванията за Югоизточна Европа по отношение на осреднените им стойности за референтен период (фиг. 1), близко бъдеще (фиг. 2) и далечно бъдеще (фиг. 3), при оптимистичен и стабилизиращ радиационен сценарий, показват следното. Пространствените характеристики на двата температурни индикатора имат относителното отклонение между -15% и 15% (фиг. 1), като на места излизат от рамките на тези граници. Положителните отклонения спрямо наблюденията преобладават в северните части, а отрицателните – в южните. За периода 2021 – 2050 г. се наблюдава идентично разпре-

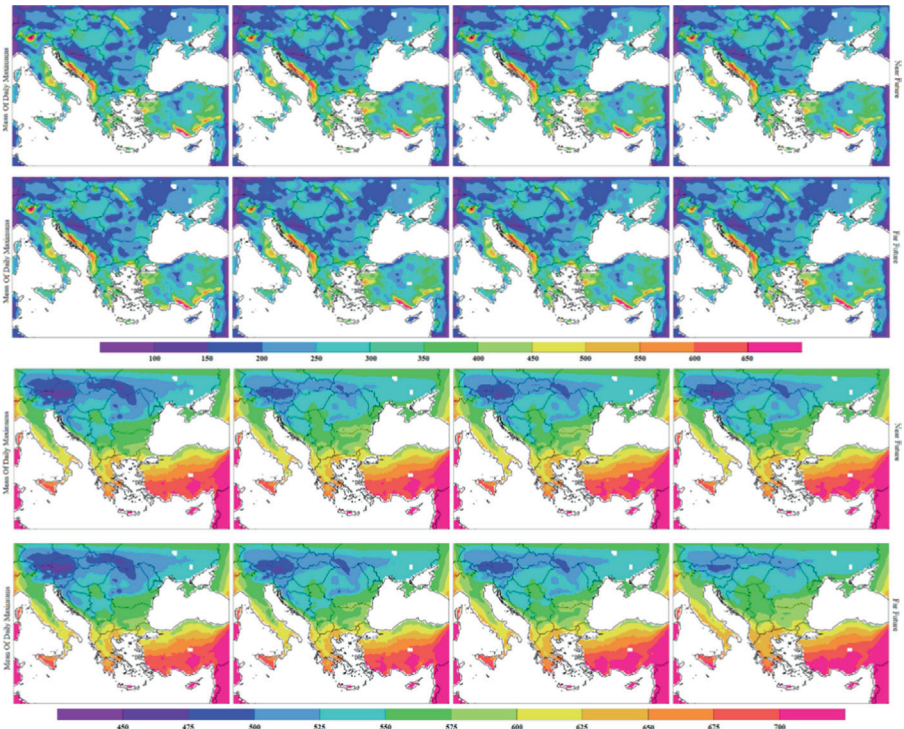
деление на отклонението от референтния период при двата сценария в рамките между 10% и 30% с малки изключения на по-високи положителни стойности извън Балканския полуостров (фиг. 2). Разликите между периодите 1975 – 2004 и 2071 – 2099 са по-големи, като районите с отклонения над 30% са повече и това е по-съществено за сценария RCP4.5 (фиг. 3). Трябва да се отбележи, че относителните промени на температурните суми на ефективната температура са по-големи над планинските райони, като цяло, и между двата сценария в далечно бъдеще.

Биофизичното начало на засушаване в агроecosистемите настъпва при средна стойност на водния потенциал:  $-225 \text{ J/kg}$  на почвата, която съответства на енергетичното равнище  $L = 15 \text{ J}^{1/2}/\text{kg}^{1/2}$  на почвена влага в Клас III на слабо понижените равнища от нова универсална класификация.

Въведени са два научно обосновани показателя: за моментна степен на засушаване в агроecosистемата и степен на засушаване за избран период през вегетацията. Представена е класификация на новия показател на енергетични равнища на почвена влага. Този показател е универсален за всички почви с различен механичен, минерален и органичен състав.

Направен е анализ на климатологията на вятъра и слънчевата радиация в настоящия и проектния бъдещ период по отношение към енергетиката от ВЕИ. Извършена е последваща оценка за потенциала на ветровата и слънчевата енергия в проектен бъдещ климат, основана на симулации с регионалния климатичен модел RegCM.

Резултатите за потенциала на ветрова енергия (фиг. 4) показват, че максималните стойности варират средно от  $150 \text{ W/m}^2$  до над  $600 \text{ W/m}^2$ . По-големи стойности се наблюдават извън територията на България – по крайбрежието на Адриатическо море и в по-малка степен на Егейско море и на Бяло море.



**Фигура 4.** Симулации с регионалния климатичен модел RegCM на осреднените дневни максимални стойности на енергийния ветрови потенциал ( $W/m^2$ ) на височина 100 метра (първи и втори ред) и потока късовълнова слънчева радиация ( $W/m^2$ ) (трети и четвърти ред) за референтен период (първа колона), RCP2.6 сценарий (втора колона), RCP4.5 сценарий (трета колона) и RCP8.5 сценарий (четвърта колона). Симулациите са за близко бъдеще (първи и трети ред) и далечно бъдеще (втори и четвърти ред)

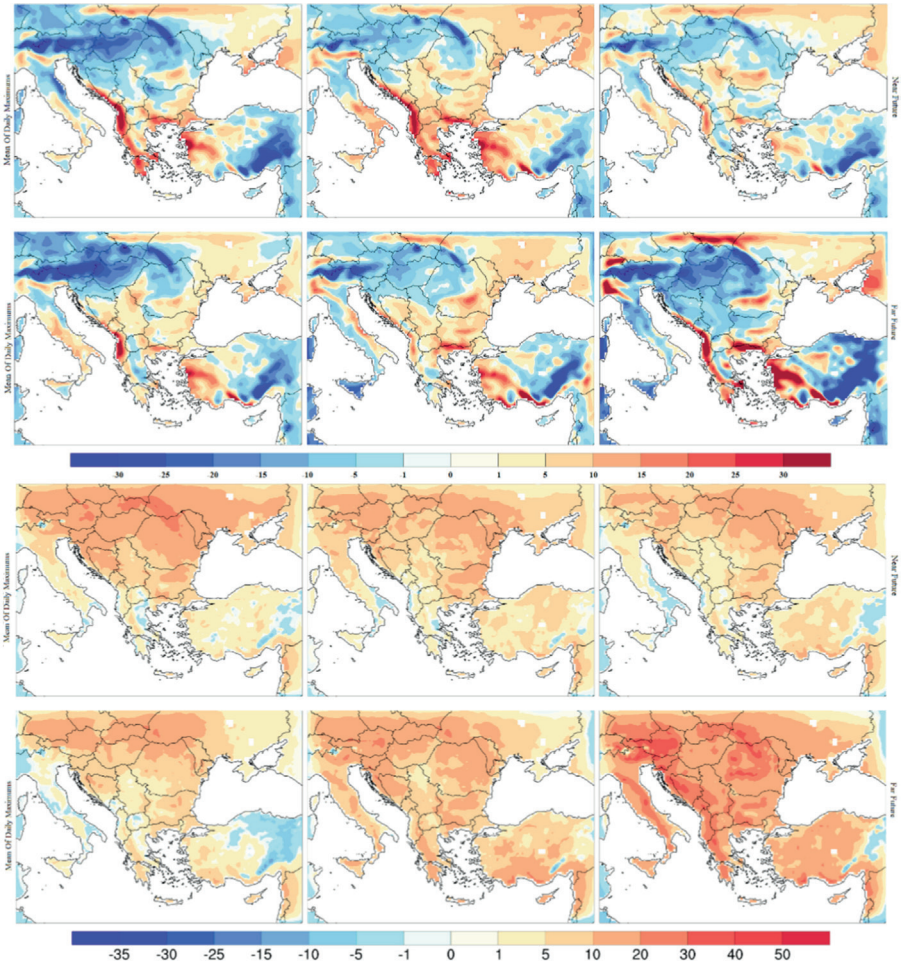
Денонощните суми на потока на слънчева радиация следват обичайния ход на увеличаване от север на юг, като на места в северните и южните части на областта се наблюдава тенденция на леко нарастване по направлението изток – запад. Промяната на средните отклонения на осреднените максимални стойности на ветровия потенциал за бъдещите периоди спрямо референтния (фиг. 5) са в рамките на от под



-30 W/m<sup>2</sup> до над 30 W/m<sup>2</sup>, но най-вече между -20 W/m<sup>2</sup> и 20 W/m<sup>2</sup>. За по-голяма част от територията на България е характерно увеличение на средното отклонението за бъдещите проекции, като това важи в по-малка степен за песимистичния сценарий. Максималният дневен поток на късовълнова слънчева радиация (фиг. 5) е с преобладаващо положително отклонение спрямо референтния период. Отрицателни стойности са симулирани извън пределите на България. Песимистичният сценарий за периода на далечно бъдеще се откроява с най-големи стойности на нарастване, включително и на територията на България.

Сушата и наводненията са природни метеорологични феномени с комплексна природа и естествена съставна част от климата на Югоизточна Европа и в частност България. Независимо от типа суша или наводнение (атмосферна, хидрологична, почвена, агрометеорологична и пр.) на, валежните количества спрямо многогодишната норма е са първопричина за последващия недостиг или прекомерен воден ресурс в екологичен и водностопански план. Подобно на други дялове на климатологията, сушата и наводненията най-често се оценяват количествено чрез специализирани индикатори – функции на различни хидрометеорологични променливи. Сред тях Стандартизираният индекс на валежите (SPI) и Стандартизираният индекс на оттока (SRI) са обекти на особена популярност и респективно се прилагат масово. Оценени са условията на засушаване/преовлажняване над България през периода 2014 – 2022 г. в термини на SPI.

Извършени са изследвания относно методите за диагностика на отклоненията от климатичните норми за засушаване и наводнения вследствие на въздействия от климатичен вид и възможностите за прилагане на мерки за смекчаване на въздействията. Разгледани са прилаганите в България методи и средства за оценка, анализирани са значими минали наводнения за Р България. Извършено е изследване за Дунавския регион – тестови участъци, с очертаване на приложими мерки за смекчаване на въздействията. Анализирани са закономерностите при формиране на водния запас в аерационната зона на почвата при засушаване. Изследвани са въздействията от засушаване, влияещи върху минимално допустимия отток в реките, свързан с функционирането на водните екосистеми.



**Фигура 5.** Резултати от симулации с регионалния климатичен модел RegCM на средните отклонения на осреднените дневни максимални стойности на енергийния ветрови потенциал ( $W/m^2$ ) на височина 100 метра (първи и втори ред) и потока късовълнова слънчева радиация ( $W/m^2$ ) (трети и четвърти ред) за RCP2.6 сценарий (първа колона), RCP4.5 сценарий (втора колона) и RCP8.5 сценарий (трета колона). Симулациите са за близко бъдеще (първи и трети ред) и далечно бъдеще (втори и четвърти ред)

## Изследване въздействието на климатичните промени върху горските екосистеми

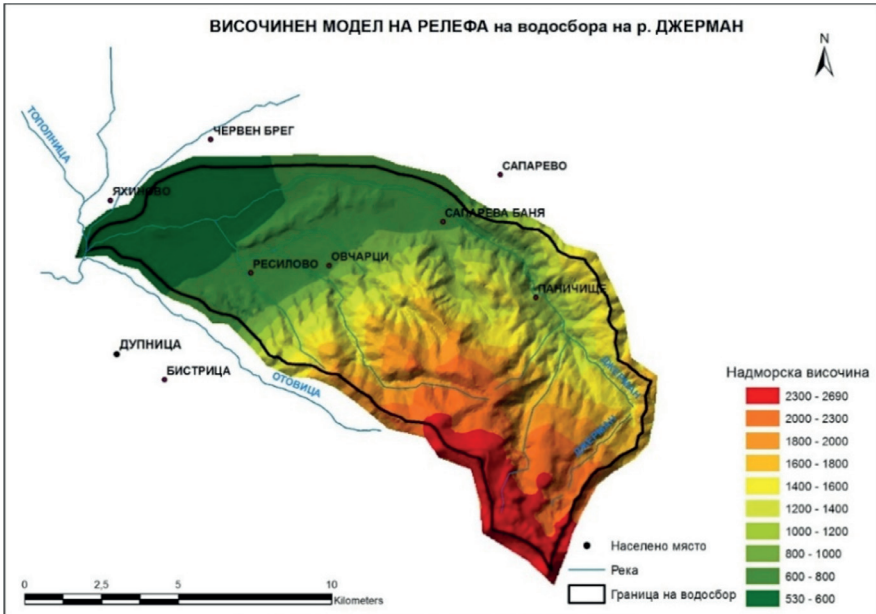
### *Оценка на деградационни процеси в планинския водосбор на река Джерман от естествен и антропогенен тип*

Вследствие на климатичните промени се наблюдават изменения в честотата и интензивността на поява на необичайни природни явления и бедствия. През последните години се отчита, че честотата на интензивни валежи се увеличава, а те предизвикват големи щети от наводнения и ерозиране на почвата. Процесите на деградация на горските екосистеми се дължат на прякото или косвеното въздействие на редица фактори – стръмни склонове, неправомерна сеч, прекомерна паша, висок ерозионен индекс, плитки почви, ниско хумусно съдържание и др. По-важните деградационни процеси са ерозия, замърсяване, намаляване на почвеното органично вещество, загуба на биоразнообразие, засоляване, киселяване, уплътняване, механично изгребване, преовлажняване, запечатване и др.

Проведени са комплексни проучвания на рисковите процеси (деградация на почвите, ерозия и атмосферно замърсяване) в горските територии на планинския водосбор на река Джерман (приток на река Струма) (фиг. 6). Съчетанието между специфичните природни и стопански условия на територията на проучвания водосбор създава предпоставки за висок риск от развитие на процеси на деградация на почвите в горските екосистеми, за влошаване на свойствата им и за намаляване на продуктивния им потенциал.

Изследвани са основните характеристики на почвите във водосбора на река Джерман, съдържанието на почвено органично вещество и запасеността на почвите с биогенни елементи. Отношението на количеството въглерод (C) към общия азот (N) в почвата изразява степента на разлагане на органичните вещества и е съществен показател за изясняване на протичащите процеси в нея. Получените резултати показват влошаване на почвените свойства, което се изразява с ниско съдържание на C и N, лек механичен профил на почвите и слаба водоустойчивост, което е предпоставка за развитие на ерозионни процеси. Установено е намаляване на органичното вещество в почвите, основно свързано с изнасянето на повърхностния почвен слой вследствие на водна ерозия, която

отстранява подвижния азот от почвения профил, и по тази причина всички изследвани почви имат незадоволителен азотен режим.



**Фигура 6.** Карта на височинния модел на релефа на водосбора на река Джерман

Опазването на почвите като важна съставна част на естествените и изкуствените горски екосистеми се отнася до намаляване на замърсяването и нарушаването на техните основни функции. В почвите, замърсени с тежки метали, протичат процеси на разрушаване на връзките на хуминовите вещества (съставна част на почвеното органично вещество), с минералната част на почвата, вследствие на което структурата на почвата се разрушава, част от иловата фракция се измива и се понижава противоерозионната устойчивост на почвите. Замърсяването на горските почви е процес на натрупване на вредни вещества от естествен или антропогенен източник, чието поведение и концентрации причиняват увреждане на почвените функции и водят до замърсяване на повърхностни и подземни води. Изследвано е съдържанието на тежки метали (Cu, Zn, Pb, Cd) и на макроеlementи (Ca, K, Mg, P, Fe, Mn) в почвите от пилотен планински водосбор на река Джерман. Установено е наличие

на тежки метали и микроелементи в широки граници на Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn и на вторични биогенни елементи Ca, K, Mg, Na. При процеси на почвено засушаване най-уязвими са почвите под културите от акация.

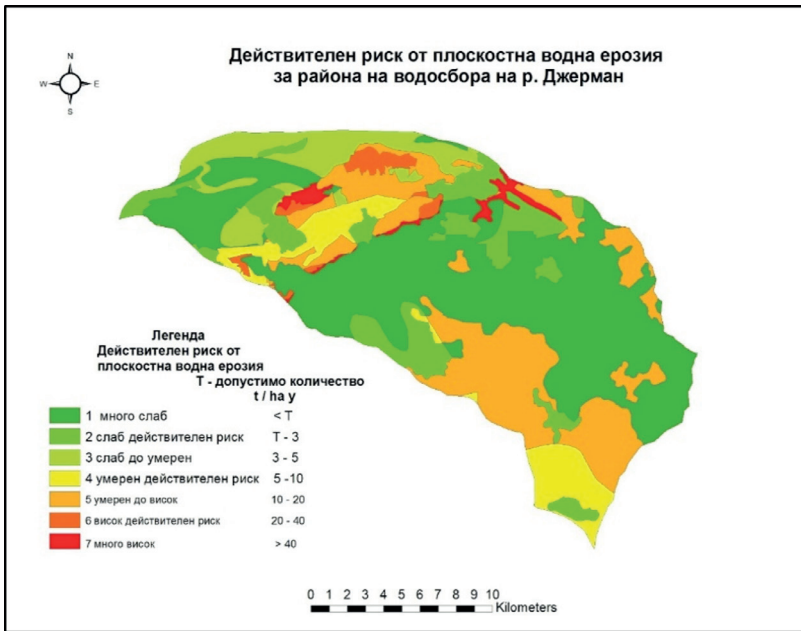
Оценено е влиянието на валежите върху развитието на ерозията чрез индекса на дъждовете (R-фактор). Индексът на почвата (Is) е определен в зависимост от степента на ерозираност на почвата и вида на ерозията. За оценка на топографския фактор (наклон на склоновете) е използван дигитален модел на терена, получен от топографски карти в мащаб 1:25 000. Оценен е потенциалният риск от ерозия на почвата, определен като произведение от ерозионния индекс на дъждовете, индекса на наклона и индекса на почвата.

От получените резултати за почвен индекс са определени зони със силно изразени ерозионни процеси. Установени са ясно видима брегова ерозия и голямо количество наносен материал. Според пространственото разпределение на индекса за ерозионност на дъждовете (R-фактор) районът на изследвания обект попада в два класа – 3 III и IV4 . Върху 82% от земите падат дъждове със слаба до средна ерозионност (400 – 600 MJ mm/ha h), а при 18% от територията дъждовете се характеризират със средна ерозионност със стойности между 600 – 800 MJ mm/ha h.

Изготвени са карти на индекса за ерозионност на дъждовете (R-фактор) и на индекса на податливост към ерозиране на почвите (K-фактор) за район на водосбора на река Джерман, като са прогнозирани вероятните средногодишни почвени загуби от ерозия (фиг. 7). Разнообразният релеф, неблагоприятният механичен състав и слабата водоустойчивост на почвената структурата на изследваната територия са предпоставка за развитие на ерозионни процеси.

Върху преобладаваща част от земите (66,5%) от територията на водосбора на река Джерман е отчетен висок потенциален риск (6 VI клас) от водна ерозия. Върху 45% от изследваната територия рискът е много слаб, но значителен дял заемат земите с умерен до висок действителен риск – 22,5%.

Всички резултати и приложеният модел показват наличието на деградационни процеси във водосбора на река Джерман. Картирането на територията според степента на риска показва най-силно засегнатите територии, в които трябва да се провеждат щадящи лесовъдски мероприятия.



**Фигура 7.** Карта на действителния риск от плоскостна водна ерозия

### *Изследване на биологичната продуктивност и улавяне на въглерода в горите във връзка с климатичните промени*

В условията на климатични промени се наблюдава промяна във височинния диапазон на дървесната растителност в долната лесорастителна зона. В хода на продължителни засушавания през вегетационния сезон преминаването на горите от една в друга зона води до понижена устойчивост и загиване на горската растителност, растяща при неблагоприятни изложения и теренни форми и след възникване на каламитите на насекомни вредители.

Главната последица от климатичните промени са сукцесионните процеси – нарастване на площите, заети от по-сухоустойчиви дървесни видове, като благун и цер, които изместват от състава на дървостойките по-влаголюбивите и високопродуктивни иглолистни видове, както и зимния дъб, бука и обикновения габър.

Наблюдава се понижаване на продуктивността на горите, свързано



с намаляване на площите на иглолистните култури и с изместване на по-високо продуктивни дървостои от зимен дъб, бук и габър от по-ниско продуктивни дървостои от космат дъб, благун и келяв габър. Създадените иглолистни култури в долната лесорастителна зона, макар и на нетипични за тях местообитания, имат по-висока продуктивност от автохтонните широколистни гори. Известен резерв в това отношение има в разширяването на ареала на цера, който притежава както необходимата сухоустойчивост за оцеляване, така и добра продуктивност. Друг естествен процес, свързан със засушаването, е обичайното при него обедняване на видовия състав, което пък води до повишен риск от каламитети на насекомни вредители. В ниската част на зоната запазването на гората е за сметка на поддържането на гори с по-ниска биопроductивност и бедно видово разнообразие.

Изследвана е продуктивността на горите в условия на климатични промени и е направена дендрохронологична оценка на въздействието на климатичните промени върху растежа на някои от основните дървесни видове чрез изграждане на хронологии от широчини на годишните им пръстени.

Условията на месторастенето и дървесните видове са ключови при отчитане на потенциала на горите за улавяне и натрупване на въглерод. Стопанисването на горите има съществено значение за баланса на въглерода както в надземните, така и в подземните компоненти. Планинските горски екосистеми изпълняват множество функции, включително предоставянето на дървен материал, дърва за горене, недървесни горски продукти и услуги като регулиране на потоците, пречистване на въздух и вода, съхранение на въглерод, защита от природни опасности и предоставяне на културни услуги. Ролята на горите за предоставяне на широк спектър от екосистемни услуги все повече се признава, особено в контекста на промените в околната среда в социален аспект. Независимо от това, не е ясно до каква степен потенциалът на планинските гори да съхраняват въглерод, може да бъде увеличен при глобални промени в околната среда.

Поставено е началото на създаване на база данни за периода 1968 – 2018 г. с информация за основни климатични параметри на опитен участък Овнарско – стационар Говедарци. Анализирани са модели на изменение на климата при различни сценарии – реалистичен, песимистичен и

оптимистичен, и на улавянето на въглерода в горите на България. Приложен е модел на изменение улавянето на въглерод в представителни горски екосистеми при различни климатични сценарии.

Резултатите на оценката на запаса и секвестрирането на въглерод (C) в горската биомаса показват, че запасът му в биомасата на горските екосистеми в Рила планина през 2005 г. е 11.14 MtC, като за периода на анализ се е увеличил с малко повече от 1.1 MtC до 12.25 MtC за 2015 г. Средният запас на C за 2005 г. е оценен на 67.26 tC/ha, а за 2015 г. – на 73.95 tC/ha. Средното изменение на запаса на C е 0.67 tC/ha годишно за периода на оценка.

C най-висок запас на C на единица площ се открояват еловите и буквите гори, съответно със 100 – 105 tC/ha и 94 – 100 tC/ha, следвани от смърчовите гори – 84 – 92 tC/ha. Секвестрирането на C пък е най-високо в групата на другите иглолистни и бялборови гори, съответно с 1.18 tC/ha и 0.84 tC/ha годишно.

Потвърждава се, че най-продуктивни от планинските горски екосистеми са насажденията от среднопланинския подпояс с доминиращо участие на ела (*Abies alba*). Средните стойности за смесените насаждения с участието на ела могат да служат като референтни за смесени иглолистно-широколистни гори от планинските зони у нас.

Установява се, че запасът на C в горските екосистеми е значим, информативен и обезпечен с данни индикатор, приложим при оценка на регулиращи екосистемни услуги, свързани с климата. Същевременно секвестрирането на въглерод дава информация за действителния принос на екосистемата в контекста на оценката на потоците на услуги и динамиката им.

Въз основа на получените резултати в настоящото проучване е установено, че нетното изменение на C в биомасата намалява с увеличаване на надморската височина, което се обяснява, от една страна, с преобладаването на зрели гори, а от друга – с наличието на по-сурови климатични условия. Доказа се, че с най-висок запас на органичен C се характеризират планинско-ливадните почви, но предвид сравнително ограничения им териториален обхват основно във високите части на планината, в общата оценка на запаса на въглерод на регионално ниво най-съществен е приносът на кафявите горски почви.



## **Изследвания на щетите от абиотичен характер и анализ на нападенията от вредители и патогени в горите на България във връзка с климатични промени**

*Въздействия от абиотичен характер (урагани, снеголоми, снеговали, ледоломи и др.) върху горските екосистеми*

Щетите от урагани в горските екосистеми в Европа са едни от най-опасните явления поради обстоятелството, че загубите от тях надвишават 50% от всички видове увреждания в горите. В България щетите от урагани имат локален характер и като цяло, заемат относително малък дял от общия обем на повредите поради обстоятелството, че страната се намира извън обсега на зараждане и действие на големите урагани в Европа. В горите на България са характерни други негативни въздействия от абиотичен характер, като горски пожари, снеголоми, снеговали, ледоломи и др., причиняващи повреди върху обширни площи.

Природните бедствия зачестяват, при което повалените и пречупени дървета създават предпоставки за намножаване на дървесиноатакуващи насекоми и възникване на нападения от тях в околните насаждения. В най-голяма степен са застрашени иглолистните култури, създадени извън естествения ареал на отделните видове (в долния и средния лесорастителен пояс), които са физиологично отслабнали и следователно са по-предразположени към съхнене вследствие на продължителни периоди на засушаване и горещи вълни, провокиращи каламитети на насекоми и епифитотии на патогени.

През периода 2006 – 2020 г. размерът на годишните увреждания в иглолистните култури достига до 207 880,0 ha. Най-много гори са повредени в Регионалната дирекция на горите Смолян (95 105,2 ha, 45,8%), Кърджали (43 418,2 ha, 20,9%) и Пазарджик (41 257,5 ha, 19,8%). Относителният дял на абиотичните повреди е най-голям през 2015 г. (35,3%), следван от 2018 г. (14,7%). Площта на опожарените култури е 3209,5 ha, с максимален дял през 2017 г. (32,6%). Общият годишен размер на абиотичните увреждания в иглолистните гори варира между 817,7 ha (2011 г.) и 77 795,1 ha (2016 г.). Ветровали и ветроломи годишно възникват в до 12 162,1 ha иглолистни гори, но значителна част от тях (над 85%) са категоризирани като слаби. Снеговали и снеголоми засягат до 19 083,7 ha иглолистни гори, а ледоломи и пожари – съответно до 1438,8 и 5688,7 ha.

Около една четвърт от опожарените площи са заети от иглолистна, а останалите три четвърти – от широколистна растителност. Месечно-то разпределение на пожарите е основна характеристика на пожарната активност в горите през годината в рамките на пожароопасния сезон, който за България обикновено обхваща времето от 1 април до 31 октомври. Като правило, началото, продължителността и краят на пожароопасния сезон не са точно фиксирани, тъй като са в пряка зависимост от метеорологичните условия в отделните райони. Въпреки това ясно се очертава летен голям максимум на пожарите през месец август, свързан с активността на населението, извършващо дейности в/или близост до горски площи. Отчетливо се откроява и един по-малък пролетен максимум, предхождащ активната вегетация на растителността.

Ветровалите, ветроломите, снеговалите, снеголомите и ледоломите крият рискове за намножаване на високоагресивни дървесиноатакуващи насекоми. Установена е корелация между наличието на свежо повалена и повредена дървесина в пострадалите насаждения и нападенията от високо агресивни насекоми ксилофаги (*Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*, *Tomicus piniperda* и др.). В горите със стопански функции повалената дървесина следва да се усвоява по най-бърз начин, а в горите със строг защитен статус ветровалите и прилежащите насаждения трябва да бъдат обект на непрекъснат мониторинг за установяване на нападения от насекомни вредители и гъбни патогени с оглед възможността за приемане на управленски решения.

Наличието на данни за ветровали, ветроломи, снеголоми, снеговали, ледоломи и каламитети и епифитотии на отделни видове и групи неприятели за дълъг период позволяват да се установят тенденциите и да се предвидят някои особености от бъдещите им динамики, които биха били определящи за обхвата на вредните прояви и потенциалните рискове за горите от тях в условията на климатични и екологични промени.

### ***Нападения от насекомни вредители и гъбни патогени в горите на България***

Стопански значимите видове и групи насекомни вредители и гъбни патогени в горите се определят въз основа на площта на регистрираните

силни нападения и заразявания, както и от размера на предложените площи за борба с тях.

За периода 2003 – 2018 г. нападенията от насекоми в горите възлизат на 225 000 ha, или 14 000 ha годишно. Третиранията засягат 79% от силно нападнатите площи, или 11 000 ha годишно. В иглолистните гори силни нападения са регистрирани при 23 вида насекоми, а в широколистните – при 33 вида.

С най-голямо стопанско значение се открояват гъботворката (*Lymantria dispar*), боровата процессионка (*Thaumetopoea pityocampa*) и комплексът от листозавивачки и педомерки, срещу които се провежда над 85% от борбата в горите. През последното десетилетие се увеличават нападенията и от други групи насекомни вредители, като борови листни оси и корояди.

През последните три десетилетия е установена експанзия на боровата процессионка (*Thaumetopoea pityocampa*) в България. В горите на Регионалната дирекция на горите – Стара Загора, експанзията се развива от 1995 г. на изток и югоизток. През 2022 – 2023 г. боровата процессионка преодолява и Стара планина и за първи път прониква в Северна България, където хранителната база и температурните условия са подходящи за успешно развитие на вредителя (фиг. 8).



Фигура 8. Първи нападения от *Thaumetopoea pityocampa* в Северна България

Оценено е разпространението на новопроникнали насекомни вредители и гъбни патогени в България и въздействието им върху местната дървесна и храстова растителност. Фокусът е насочен към най-агресивните видове, застрашаващи биологичното богатство на страната: насекомните вредители *Corythucha arcuata* и *Corythucha ciliata*, гъбните патогени *Diplodia sapinea*, *Cryphonectria parasitica* и др. (фиг. 9).



**Фигура 9.** Нападение от *Corythucha arcuata*

В широколистните гори най-деструктивните заболявания (*Cryphonectria parasitica*, *Ceratocystis roboris*, *Hypoxylon mediterraneum*, *Orhiostoma novo-ulmi* и др.) имат способността да променят функционалната структура на насажденията. Силното развитие на заболяванията настъпва при физиологично отслабване на дърветата след силни засушавания, ниски температури, както и повреди от абиотични фактори и насекомни вредители. В иглолистните гори през последните години са установените сериозни повреди от опасни инвазивни патогени (*Diplodia sapinea*, *Dothistroma septosporum*, *Dothistroma pini* и *Lecanosticta acicola*), които проявяват все по-висока вирулентност и нанасят сериозни повреди върху местните и върху интродуцирани видове от род *Pinus* (фиг. 10).



Фигура 10. Повреди от *Diplodia sapinea*

Анализирана е опасността от проникване на опасни инвазивни насекоми вредители и патогени (*Anoplophora glabripennis*, *Anoplophora chinensis*, *Dryocosmus kuriphilus*, *Agrilus planipennis*, *Cinara cedri cedri*, *Ceratocystis platani* и др.) в горските екосистеми и зелените системи на урбанизираните територии в България. Набелязани са основни методични подходи за мониторинг върху проникването, действия за унищожаване на нововъзникналите популации и ограничаване разпространението на отделните видове на територията на страната.

Силното разпространение на инвазивните патогени нарушава екологичната роля на горите в България, както и стопанската им функция и рекреационно предназначение. Необходимо е да се провеждат ежегодни мониторингови наблюдения за отчитане силата на инфекцията и степента на разпространение на патогените, взаимодействието им с други гъбни патогени и насекомни вредители, както и конкретното им влияние върху засегнатата горскодървесна растителност.

*Биологична и интегрирана борба с насекомни вредители и гъбни патогени*



Разработена е технология за биологична и интегрирана борба с най-опасния вредител в широколистните гори – гъботворката (*Lymantria dispar*), базирана на използване на ентомопатогенната гъба *Entomophaga maimaiga*, в зависимост от фазата на градацията и популационната плътност на вредителя. Технологията е апробирана през 2021 – 2023 г. чрез внасяне на почва с азигоспори на патогена в полезащитните пояси в района на Държавното горско стопанство – Балчик. През 2021 г. *Entomophaga maimaiga* причинява смъртност на 26% от гъсениците на гостоприемника, но през следващите години в местата на интродукциите се развива смесена инфекция от *E. maimaiga* и ядрен полиедрен вирус на гъботворката, *Lymantria dispar multiple nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)*, която води до развитие на масова епизоотия и пълно затихване на каламитета на вредителя. Епизоотията в района на Балчик е първият регистриран случай на съвместна инфекция на *E. maimaiga* и *LdMNPV* в България (фиг. 11).

Внасянето на *E. maimaiga* с почва, съдържаща азигоспори на патогена от места с епизоотии на гъботворка, е иновативен подход, надграждащ класическата методика за интродукция на патогена чрез мъртви гъсеници на гостоприемника.

Регулиращото въздействие на *E. maimaiga* върху популационната плътност на гъботворката е доказателство за високата ефективност на патогена и приложимостта му в качеството на ключов елемент в интегрирана система за борба с най-опасния вредител в широколистните гори.

Системата включва три етапа в зависимост от популационната динамика (градационните фази) и плътността на вредителя. При ниска численост се провежда мониторинг за поява на огнища на нападение на гъботворка. Във фаза на нарастване на числеността на вредителя се извършва внасяне на инокулум (заразени гъсеници на гъботворка с азигоспори на *E. maimaiga*) в нововъзникващите огнища на нападения. При висока численост (каламтитетни нападения) се оценява необходимостта от защита на нападнатите насаждения въз основа на стопанската ценност, консервационната значимост и др., след което се взема решение за внасяне на *E. maimaiga* в избрани насаждения или използване на биоинсектициди (продукти на основата на *Bacillus thuringiensis* и *Saccharopolyspora spinosa*) за защита на най-продуктивните насаждения и горите с курортни и рекреационни функции.



**Фигура 11.** Епизоотия на гъботворка от *Entomophaga maimaiga* и *LdMNPV*

За първи път в България е приложена нова технологии за биологична борба със силно агресивния патоген *Cryphonectria parasitica*, причиняващ некрози по стъблата и клоните на питомния кестен (*Castanea sativa*) в Беласица и Северен Пирин чрез използване на CHV хиповирулетен щам на патогена. През 2023 г. са отчетени първите положителни резултати под формата на наличие на калусирали рани по стъблата на инфектираните дървета.

#### ***Лесовъдски подходи за адаптация на горските екосистеми към климатични промени***

В долния и средния горскорастителен пояс в България иглолистите култури са извън естествения си ареал, но при нормални климатични условия те в редица случаи са по-изгодни от семенни дъбови насаждения. Икономическите анализи на различни лесовъдски варианти за стопанисване на иглолистните култури показват, че залесяването с иглолистни видове е по-изгодно от това с широколистни, но разликата не е голяма. Залесяването с тях е отчетено като успешно мероприятие, довело до повишаване на лесистостта на страната, овладяване на ерозията върху значителни пространства и производство на значителни запаси от дървесина.

Доказано е, че в иглолистните култури, създадени извън естествения ареал на дървесните видове в долната и средната лесорастителна зона на България, разпадът на културите най-силно се влияе от надморската височина и възрастта на насажденията. Процесът е свързан с нарастване на влажностния дефицит на месторастенията и по-бързата кулминация на културите в сравнение с естествените насаждения на по-голяма надморска височина. В условията на физиологичен стрес и загуба на жизнен потенциал културите губят своята устойчивост и стават обект на нападения от насекоми вредители и гъбни патогени. Съхненето на дърветата най-често протича бързо при заселване от насекоми ксилофаги, преди всичко корояди (фиг. 12).

Глобалното затопляне влошава условията за съществуване на иглолистните култури в страната. Поради тази причина и по лесовъдски съображения, възобновяването на културите от бял и черен бор трябва да се извършва за сметка на естествено и изкуственото възобновяване с дъб и други дървесни видове.

Естественото възобновяване с пионерни видове, главно келяв габър, е най-евтиният вариант, но то е свързано с продължителна пауза на дървесинопроизводство и загуба на време за формиране на дъбови гори, които са главно средство за запазване на лесистостта в черноземната зона, предвид прогресиращата аридизация на климата. Възобновяването с келяв габър следва да се толерира на най-бедните месторастения, където келявият габър е главен лесообразувател и дъбът не е значително по-производителен от него.

В долния лесорастителен пояс на страната са предложени радикални лесовъдски системи за усвояване на биомасата от иглолистните култури, рационален опростен метод за подобряване на тяхната устойчивост и удължаване времето за разпада чрез отгледани сечи и методи за трансформация.

Създаването на иглолистни култури остава оправдано в средния горскорастителен пояс, който граничи с естествения им ареал. Природните качества на белия и черния бор като пионерни видове (лесно прихващане, бърз растеж и др.) следва да се използват за по-бързо производство на висококачествена строителна дървесина.





Фигура 12. Съхнене на култура от бял бор под въздействие на нападение от корояди

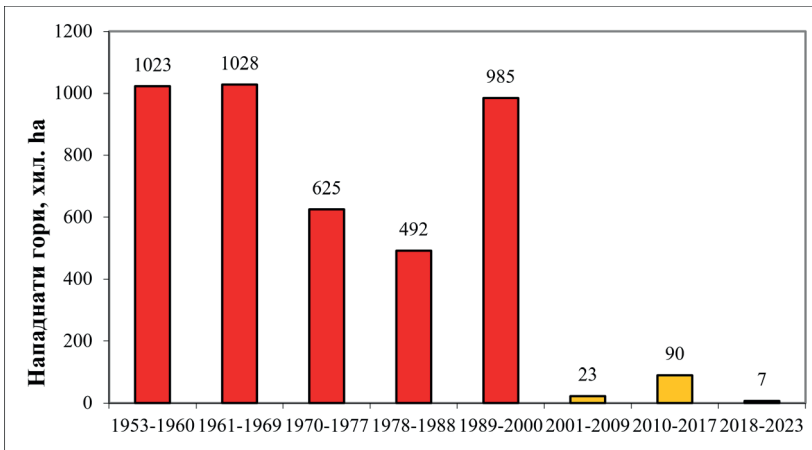
Издънковите дъбови гори в България заемат близо една четвърт (1,2 млн. ha) от лесопокритата площ на България и имат много важно място в горското стопанство на страната. Наред с голямото си дървопроизводително значение, те имат и много значими средообразуващи и защитни функции.

Понастоящем две трети от издънковите дъбови гори вече са преминали турнусната си възраст и вследствие на застаряването им започват прояви на разпад. Те плодоносят често, с повсеместна поява на подраст, но паралелно с него се развива и гъста подлесна растителност, която бързо го надраства и заглушава. Без активна лесовъдска намеса издънковите дъбови гори са застрашени от деградация в хресталачни съобщества. Ускореното им превръщане в семенни гори е крайно наложително с оглед създаването на устойчиви дървостои.

За укрепване на дъбовия подраст е необходимо отглеждане и осветяване през първите десетина години, още от момента на възобновителната сеч. За целта е разработен и апробиран адаптиран вариант на

краткосрочно-постепенна сеч, който дава възможност издънковите дъбови гори да бъдат успешно превърнати в семенни. Предложени са и други подходящи възобновителни сечи – постепенно-котловинна и неравномерно-постепенна, и е аргументирана необходимостта от въвеждането на средностъблено стопанство в част от издънковите ни дъбови гори.

Благоприятен елемент в новите лесовъдски системи е силното намаляване на главната заплаха в дъбовите гори – обезлистванията от гъботворка (*Lymantria dispar*), които са почти изцяло са потиснати чрез интродукция на гъбния патоген *Entomophaga maimaiga*, който регулира ефективно нейната численост. До интродукцията на *E. maimaiga* в България през 1999 г. нападенията от отделните градации на гъботворка възлизат на 492 – 1028 хил. ha (фиг. 13). След интродукцията на патогена при следващите две градации са нападени само 23 и 90 хил. ha, а при третата (текуща в момента) градация – едва 7 хил. ha, което е нищожна част от нападенията от вредителя преди интродукцията.



**Фигура 13.** Нападнати гори при отделните градации на гъботворка в България през периода 1953 – 2023 г.

Предложените лесовъдски системи са апробирани в Централна Северна България, но те могат да се използват и в други райони на страната, където горите имат сходни характеристики, независимо от тяхната собственост.



**Фигура 14.** Географска култура от дугласка (*Pseudotsuga menziesii*)

Съвременните подходи за адаптация на горите към настъпващите климатични промени включват използване на алтернативни устойчиви дървесни видове, произходи, клонове, както и създаване на смесени насаждения от местни и интродуцирани видове. Използването на репродуктивни материали от горски насаждения, разпространени в райони с по-топъл климат, може да допринесе до повишаване устойчивостта на горите срещу наблюдаваните температурни промени.

Изследвани са възможностите за хармонизирана употребата и трансфер на горски генетични ресурси и са анализирани възможностите на осъществяването вече интродукция с бързорастящи и високопродуктивни неместни дървесни видове. Извършена е оценка на растежните показатели и устойчивостта на дървета от различни произходи в създадени експериментални географски култури от дугласка (*Pseudotsuga menziesii*) и атласки кедр (*Cedrus atlantica*) (фиг. 14).

Изготвени са препоръки за създаване на устойчиви високопродуктивни горски култури от дървесни видове и произходи, които показват висок капацитет за адаптация към климатичните промени и които увеличават ресурсната ефективност на горските територии в страната.

## 1. Разпространение и популяризация на резултатите

Разпространение на резултатите:

Публикации	
Монографии	1
Q1	34
Q2	11
Q3	5
Q4	20
Scopus /WoS (без SJR и IF)	30
Други	33

**Списък на някои от най-важни статии публикации:**

1. Zafirov, N., Panayotov, M., Tsvetanov, N., Nikolchova, I., Trouet, V., 2020. Dendroclimatic analysis of *Pinus peuce* Griseb. at subalpine and treeline locations in Pirin mountain, Bulgaria, *Dendrochronologia*, 61, <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125703> (Q1)
2. Safonova, A., Hamad, Y., Dmitriev, E., Georgiev, G., Trenkin, V., Georgieva, M., Dimitrov, S., Iliev, M., 2021. Individual tree crown delineation for the species classification and Assessment of Vital Status of Forest Stands from UAV Images. *Drones*, 5, 3, MDPI Open Access Publishing, DOI:10.3390/drones5030077, 1-18. (Q1)
3. Georgieva, M., Belilov, S., Dimitrov, S., Iliev, M., Trenkin, V., Mirchev, P., Georgiev, G., 2022. Application of Remote Sensing Data for Assessment of Bark Beetle Attacks in Pine Plantations in Kirkovo Region, the Eastern Rhodopes. *Forests*, 13(4), 620, MDPI Open Access Publishing, pp. 1-15, <https://doi.org/10.3390/f13040620> (Q1)
4. Tsvavkov, E., Tsvetanov, N., Shishkova, V., E., Panayotov, M., 2022. First dendrochronological studies of *Quercus protoroburoides*. *Dendrochronologia*, 75, 125984, <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125984> (Q1)
5. Chervenkov, H., Slavov, K., 2020. Historical Climate Assessment of Precipitation-based ETCCDI Climate Indices Derived from CMIP5 Simulations, *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, vol. 73, no 7, pp. 942 – 948, DOI:10.7546/CRABS.2020.07.06 (Q2)
6. Gadzhev, G., Ganev, K., 2021. Computer Simulations of Air Quality and Bioclimatic Indices for the City of Sofia. *Atmosphere*, 12, 1078, <https://doi.org/10.3390/atmos12081078> (Q2)

7. Ivanov, V., Gadzhev, G., 2022. Behavior and Scalability of the Regional Climate Model RegCM4 on High Performance Computing Platforms. In: Lirkov, I., Margenov, S. (eds) Large-Scale Scientific Computing. LSSC 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol. 13127. Springer, Cham, pp. 124 – 131, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-97549-4\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-97549-4_14) (Q2)
8. Chervenkov, H., Spiridonov, V., 2024. Clouds Formed by Thermals Arising and Evolving Under the Influence of the Coriolis Force. In: Lirkov, I., Margenov, S. (eds) Large-Scale Scientific Computations. LSSC 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol. 13952. Springer, Cham., [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2_29) (Q2)

### **Популяризиране на резултатите**

<b>Вид</b>	<b>Събитие</b>
Научен семинар	Институт за гората – БАН, посветен на „150 години Българска академия на науките“, „80 години от рождението на чл.-кор. Боян Роснев“ и Седмицата на гората
Лекция	Понятие и смисъл на регионалното климатично моделиране. Примерни резултати
Международна конференция	Организиране на 1st International conference on ENVIRONMENTAL protection and disaster RISKS
Международна конференция	Организиране на 2nd International conference on ENVIRONMENTAL protection and disaster RISKS (EnviroRISKS 2022) & 10th Annual CMDR COE Conference on Crisis Management and Disaster Response (CM & DR 2022)
Научен семинар	Седмицата на гората 2023 г.
Международна конференция	Организиране на „Мениджмънт и качество“ – Екология и управление на горските екосистеми
Общо изнесени доклади на конференции	81 доклада на 43 конференции

## ВОДЕН БАЛАНС И ВОДНИ РЕСУРСИ НА СТРАНАТА

**Проф. д-р Емил Бурназки**

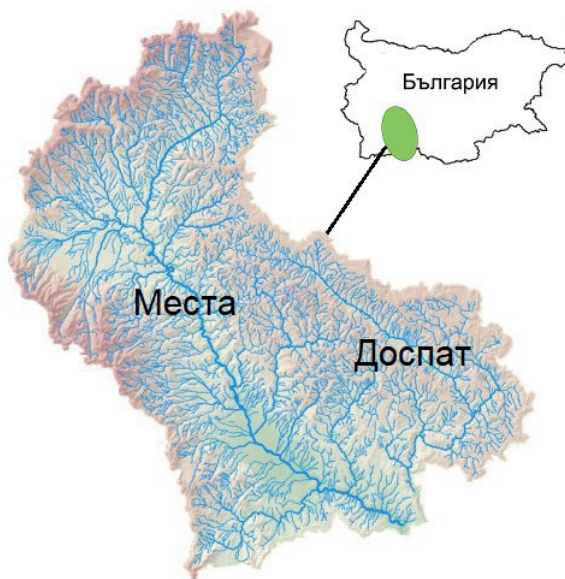
*Институт за изследвания на климата, атмосферата и водите  
Българска академия на науките*

### **Основни цели и задачи, обекти на изследване**

Във всички страни по света водата е ресурс и суровина номер едно, без която създаването на продукция и стопанското развитие са невъзможни. За много народи осигуряването на вода стана основна грижа. Водните ресурси в настоящата програма се разглеждат като регионално и национално богатство, което трябва да се опазва и използва продуктивно. Водите, заедно с основната водна инфраструктура, представляват стратегически обекти от значение за националната сигурност на Република България.

Основните цели и задачи в програмата включват следното.

- Проучване и актуална оценка на пресните водни ресурси и водния баланс на страната с изява на тяхната времева неравномерност в зависимост от годишните климатични условия (валежи, температури и изпарение) и климатични промени.
- Изследване влиянието на естествените и антропогенните фактори и неблагоприятни явления върху количествените характеристики на повърхностните води в характерни и типични за страната речни водосбори (не е възможно програмата да обхване всички).
- Оценка на отточния режим и обезпечеността с водни ресурси в условията на променящ се климат в избрани високопланински водосбори и такива с умереноконтинентален климат.
- Изследване на закономерностите на формиране и оценка на подземните водни ресурси в цялата страна, с по-детайлно разглеждане на някои пилотни райони в България, като основно внимание е обърнато на изследвания в поречието на р. Места.



Фигура 1. Реките Места и Доспат

– Да се определи наличният воден ресурс и воден баланс на реките Места и Доспат с реалното водопотребление и екологични нужди от вода на българска територия и да се оценят остатъчните водни обеми за удовлетворяване нуждите на страната извън техните водосбори (фиг. 1).

Проведени са насочени фундаментални и приложни изследвания, интегриращи съвременни информационни и комуникационни технологии за предметната област. Разработените в програмата симулационни модели на хидроложки процеси в български речни водосбори и системи за управление дават възможност за решаване на редица приложни задачи за оценка и рационално използване на водите. Повечето от използваните в проекта методи и подходи са нови и иновативни и могат да служат за проучване на други наши речни водосбори. Така ще подобрим познанията си за водите на страната.

Една от задачите е подпомагане на държавни структури и ведомства при решаване на неотложни и текущи национални задачи от водния сектор и при възникване на водни кризи.

Основните резултати на програмата са публикувани в редица между-



народни и национални издания и в две научни монографии публикувани от Издателството на БАН „Проф. Марин Дринов“ през 2021 г. и 2024 г.

Колективът изпълни основните цели и задачи в рамките на програмата, но проблемите с водите са многостранни, с важно значение за бъдещото развитие на нашата страна. Това налага научното обслужване по темата да продължи. Живеейки в динамична среда, с благодарност ще посрещнем всички обосновани бележки и допълнения.

### Изследователски методи

В изследванията по програмата са използвани данни от: справочници, Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ), годишни бюлетени, Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС), Националния статистически институт (НСИ), публикации, научни разработки (в това число и наши), проектни разработки, планове за управление на речни басейни (ПУРБ), закони, наредби и стратегии, свързани с водите, и данни от наши полеви проучвания.

Приложени са различни статистически методи за анализ на ресурсите.

– **Статистически тестове** за оценка на еднородността на времевите редове от годишни и сезонни стойности на речния отток: **Lilliefors, Shapiro – Wilk, Anderson – Darling test, Jarque – Bera test**, както и графични методи с двойносумарни криви.

– **Статистически тестове на Колмогоров – Смирнов и  $\chi^2$**  за оценка на лог-нормалното разпределение за хомогенността на редовете от годишни водни обеми за страната.

– **Статистически тестове на Тюки, на Грабс и s-score** (включително в графичен вид) за определяне на извънредните стойности на времевите редове; **тест на Mann – Kendall и Sen'slope** за оценка на тренда и степента на изменение на редовете на речния отток.

– Прилагана е **линейна регресия** между речен отток и валежи.

Важно е да се отбележи, че тези методи се усвояват от участващите в програмата млади учени и докторанти от СУ „Св. Климент Охридски“.

В програмата са използвани различни индекси за експлоатацията на наличните водни ресурси и за степента на задоволяване на потребностите на обществото от вода.

– **Индекс на Falkenmark FI** за оценка на обезпечеността с водни ресурси на глава от населението и на водния стрес, изразен с отношението на обема на годишния речен отток в кубически метри към броя на населението през годината във водосбора.

– **Индекс на Colwell** за сезонната предсказуемост на речния отток чрез дефиниране на постоянството и случайността на водните обеми за хидроложки сезони.

– **Индекс на климатична еластичност** на речния отток дефиниран като пропорционално изменение на речните водни обеми спрямо вариабилността на количеството валежи във водосбора.

– **Индекс на сезонния отток** за оценка на сезонната изменчивост на зимния и пролетния отток в пространствен аспект.

– За оценка на използваните водни ресурси се въвежда **експлоатационен воден индекс WEI+**, който определя общото количество годишно отнети води в проценти от средномногогодишния ресурс на прясна вода, като се отчита и върнатото количество във водоприемника. Илюстрира стрес и уязвимост на водните ресурси.

В програмата са прилагани моделни изследвания със съвременни софтуери с **математически и компютърни модели и информационни технологии** за анализ и оценка на количеството и качеството на водните ресурси и водния баланс, за симулиране на природни процеси, за подпомагане на вземането на решения при използване на водите, за планиране на водоползването и др.:

– компютърна система **HEC-HMS** (Hydrologic Modeling System) за създаване на хидроложки модел на процеса „валеж – отток“ в градски или естествени речни водосбори за пресмятане на водния отток и за изследване поведението на речния басейн при различни земеползвания и климатични сценарии;



– усвоен е пространствен динамичен модел за анализ на процеса „валеж – отток“ **Community Land Model (CLM)**, който е модул от по-общ глобален климатичен модел **Community Earth System Model (CESM)** и

на National Center for Atmospheric Research (NCAR). Моделът разглежда хидроложки, атмосферни и фенологични процеси в различни времеви интервали и пространствени мащаби;

– за първи път у нас е усвоен за практическо ползване софтуерът **WEAP** (Water Evaluating and Panning), предназначен за анализ и оценка на водните ресурси и водния баланс, водопотребление, разпределение и планиране на водите и др.;



– система **MULINO DSS** за подпомагане вземането на решение при управление на водните ресурси с използване на многокритериален и мултиатрибутивен анализ за оценка на алтернативи;



– система **ProDec** (Procedures for Decisions) за съставяне на процедури на решения чрез правила от вида „Ако ..., тогава ...“. Подпомага избора на действия за реакции при критични ситуации (наводнения, пожари, внезапни и опасни замърсявания и др.);

– въведени са нови методики за моделиране режима на подпочвените води с усвояване на софтуера **AquiMod** за възстановяване редици на водни нива и прогнозиране на хидрографи;



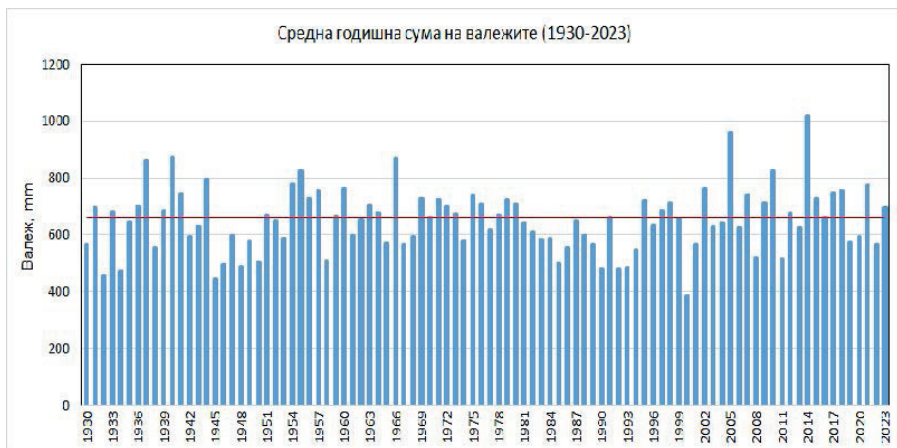
– за първи път у нас е използван софтуерът **WaterbalANce** за моделиране на подземни води, зоната за подхранване, водния отток на извори и др.;

– използвани са нови геофизични методи за хидрогеоложки проучвания и локализиране на подземни водообилни зони по SP метода на собствения потенциал с апаратура PQWT-S500, закупена със средства от програмата;

– прилагана е експериментална дейност с водочерпателни опити в кладенци.

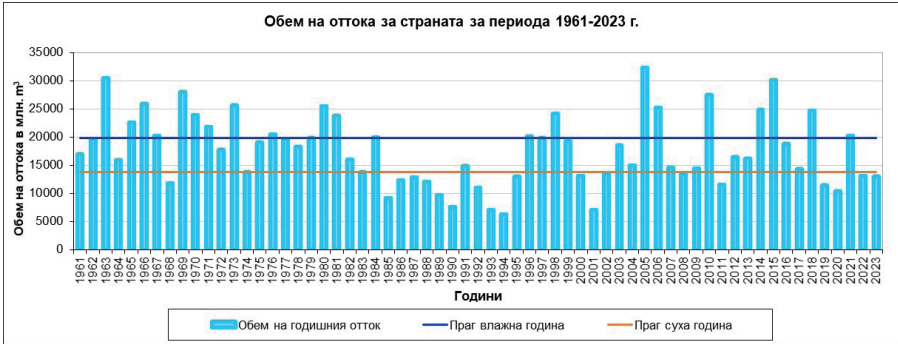
## Дейности по програмата

Водните ресурси на страната се формират от използваемата част на повърхностните и подземните води, които, от своя страна, са взаимно свързани по генезис поради общо подхранване от валежите. Повърхностният отток, като ресурс, се формира на територията на страната основно от речните води, включително от външни територии. На фиг. 2 са дадени сумарните годишни количества валежи в България за периода 1930 – 2023 г. Годишното количество валеж средно за страната за периода 1961 – 1990 г. като норма е 638,7 mm, докато за периода 1991 – 2020 г. като настояща климатична норма е 665 mm. От данните на фигурата се вижда, че 2000 г. е била година с най-малко количество валеж (по-малко от 400 mm). Годината с най-голямо средногодишно количество валеж (малко по-голямо от 1000 mm) е 2014 г. Аналогично повърхностният отток на страната се характеризира със значителна неравномерност и определена цикличност, както се вижда от фиг. 3 за регистрирания средногодишен отток за последните 54 години.



**Фигура 2.** Годишно количество валеж за периода 1930 – 2023 г. в сравнение с климатичната норма 665 mm (1991 – 2020 г.) – хоризонтална линия (източник НИМХ)

Според (Генерални схеми, 2000) общият средногодишен речен отток формиран на територията на България за периода 1961 – 1998 г., е 19 433.106 м<sup>3</sup>, а този от съседни държави – 476,9.106 м<sup>3</sup>. Този обем е по-малък от считания като воден ресурс на страната отток 20,264 млрд. м<sup>3</sup>, определен за периода 1935 – 1984 г. През последните десетилетия най-многоводна е била 2005 година с регистриран средногодишен отток повече от 32 000.106 м<sup>3</sup> (фиг. 3).



**Фигура 3.** Годишен обем на оттока за периода 1961 – 2023 г.  
(източник НИМХ)

Средногодишната стойност на речния отток за периода 1997 – 2022 е 16 733.106 м<sup>3</sup>, по-малка от нормата за референтния период 1961 – 1990 г. – 18 455,5.106 м<sup>3</sup>. Месечното разпределение за периода 2013 – 2022 г. по райони за басейново управление на водите еднозначно определя периода март – май като най-многоводен в условията на умереноконтинентален климат (Дунавски и Западнобеломорски район) и месеците от януари до април за многоводен в източната и югоизточната част на страната (Черноморски и Източнобеломорски район) (фиг. 4).



**Фигура 4.** Месечно разпределение на речния отток по райони за басейново управление относно средногодишния отток в района за периода 2012 – 2022 г.

### Теренни изследвания

По време на програмата са направени редица посещения и обследвания на повърхностните води на територията на водосборите на Места и Доспат, включително на гръцка територия. Проведени са срещи със специалисти, познаващи местните проблеми на водите. Теренните изследвания са извършвани от колектив от двама участници при средна натовареност от три дни за посещение.

Проведени са специални теренни изследвания за набиране на допълнителни данни за хидрогеоложките особености и подземните води в страната в Славяново край Плевен, в Правец, Лозен, Своге, Кюстендил, Априлци, Кърджали, Банкя, София, Троян, Томпсън, Владо Тричков, Драговищица, Курило, Подгумер, Сливен, Вакарел, Брънковци, Мичковци, Драгоман, Вървен, Лесков дол, Панчарево, Каратепе (Доспат), Рельово, Бистрица, Гълъбово, Ярославци, Мърчаево, Долно Вършило, Севлиево, Дебнево (Троян), Петрич и др. Изследвани са над 50 участъка при различни геоложки условия на територията на

цялата страна. Извършвани са от средно двама участници в колектива при средна натовареност от два дни за изследване.

Проведени са нови геофизични проучвания по метода на собствения потенциал (SP метода) за оценка на хидрогеоложките условия и локализиране на водообилни зони. Използвана е закупена със средства от програмата апаратура PQWT-S500, която измерва автоматично електрическото поле и съпротивлението на скалите, за да открие относителното понижаване на съпротивлението, показващо наличието на вода в скалите. Апаратурата измерва електрическото поле до максимална дълбочина 500 m от земната повърхност през интервали от 4,15 – 7,5 m.

Събраните метеороложки, хидроложки, хидрогеоложки и водостопански данни от пътуванията в страната и от литературни източници са обработени и използвани в статистическите анализи и моделни изчисления.

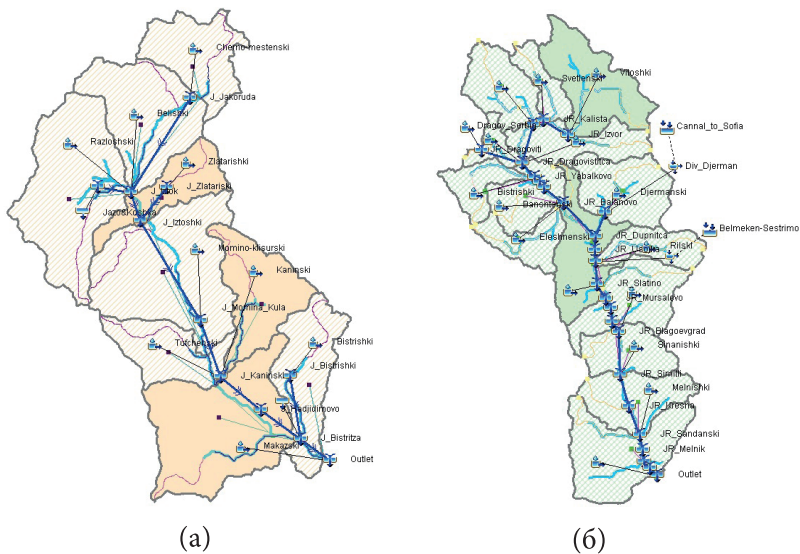
Проведени са лабораторни изследвания за наличие и отстраняване на манган от замърсени питейните води на с. Брестовица, Пловдивска област, през юни 2021 г.

### **Компютърни симулации**

Математическите и компютърните модели и информационни технологии бяха основното средство за анализ и оценка на водните ресурси и водния баланс, за симулиране на съответни хидроложки и хидравлични процеси, за екологосъобразно планиране на водоползването, за подпомагане вземането на решения и др. За проучване на параметрите на оттока в речен водосбор и неговото формиране при различни климатични условия бе използван софтуерът **HEC-HMS** на US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center (HEC). Моделира процеса „валеж – отток“ с полуразпределени параметри и речното течение с числено решаване на уравненията на Сен-Венан. Лесно се свързва с ГИС и хидроложките данни могат да бъдат импортирани в системата за изчисляване поведението на речния басейн при валежен процес. Генерираните резултати (хидрографи) се използват директно или заедно с друг софтуер за изучаване на речния отток, водните обеми, за прогнозиране на оттока при различни климатични сценарии, бъдещо влияние на урбанизацията, проектиране на водоакмулиращи съоръжения (вкл.



язовири), намаляване на щетите от наводнения, определяне на наводненни райони и др. Софтуерът е свободно достъпен и намира приложение в хидроинженерната практика. В настоящата програма е представен на примера на местенския и струмския водосбор на българска територия (Bournaski et al. 2021). Създадени са калибрирани модели на хидроложки процеси с 9 подбасейна за Места и 15 за Струма (фиг. 5) с цифров DEM модел на терена и реални климатични данни. На фиг. 6 са показани резултати от изчислен и измерен отток на река Места.



**Фигура 5.** Басейнови HEC-HMS модели (а) на водосбора на река Места (площ 2768 km<sup>2</sup>) с 9 подбасейна и (б) на Струма (площ 10797 km<sup>2</sup>) с 15 подбасейна



**Фигура 6.** Резултат за водния отток на река Места с измерени и изчислени с HEC-HMS данни в пункт Момина кула на 53,5 километра от границата с Гърция

Със създадените и калибрирани хидроложки модели са проведени редица изчислителни процедури за определяне на речния воден отток при продължително и при събитийно симулиране на валежни процеси. Изчислено е разпространението на висока водна вълна по дължина на реката от симулиран внезапен буреносен дъжд на примера на река Места (Bournaski et al. 2021). С HEC-HMS модела с достатъчна степен на точност е симулирано катастрофалното наводнение от река Соголянска Бистрица в община Кюстендил (десен приток на Струма) през ноември 2009 г., разрушило международния път София – Скопие и нанесло щети за около 11 млн. лв.

Софтуерът **WEAP** (Water Evaluating and Panning) на Стокхолмския институт по околна среда за анализ на водните ресурси и водния баланс бе приложен за поречията на Места и Струма. За първи път у нас се създават модели на реални обекти с този софтуер. WEAP не изисква подробни входни данни, някои от тях могат да се получават автоматично на базата на цифрови данни за релефа и климата, включително от сателити, и е много подходящ за райони с ограничен хидроложки мониторинг. Ефективното управление на водите в избрана територия изисква оценката на водните ресурси и водния баланс. Използваното

уравнение на водния баланс в софтуера е

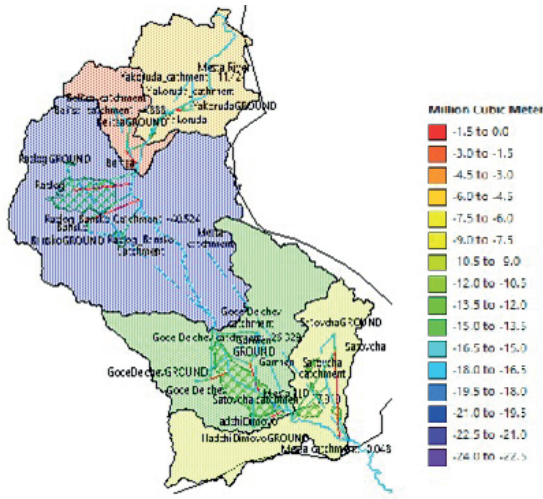
$$P = Q + E \pm \Delta S,$$

където  $P$  са валежите (mm),  $Q$  – водният отток (mm),  $E$  – изпарението (mm), и  $\Delta S$  – съхранението/отдаването на вода в почвата, водоносните пластовете или язовирите (mm). За подбран 5-годишен период 1998 – 2003 г. с референтна година 1998 г. посредством GIS база данни е създадена схема на местенския водосбор, разделен на 5 по-малки района, обхващащи по-големите населените места и консуматори на вода, фиг. 7.

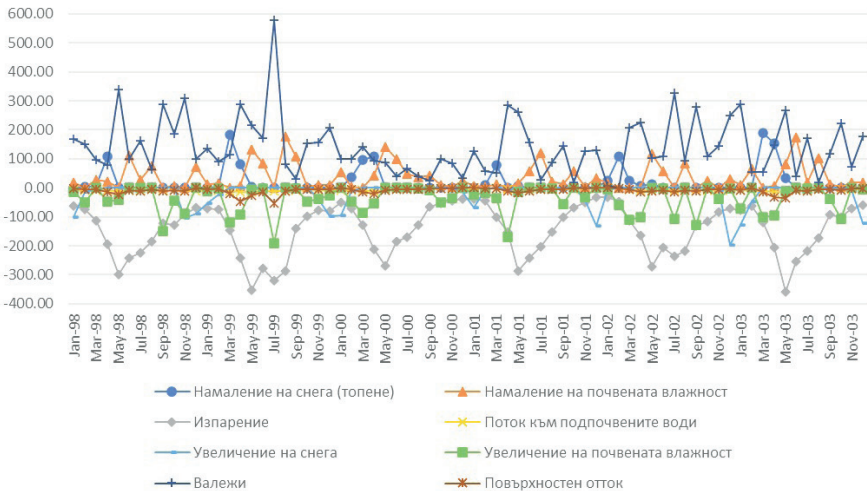


**Фигура 7.** WEAP схема на водосбора на река Места с показани консуматори на вода

Симулираният воден баланс в поречието на Места е показан в пространствен и графичен вид на фиг. 8 и фиг. 9. Проведените изследвания с WEAP модела имат приложно значение, тъй като отчитат както естествени процеси, така и антропогенни въздействия и водопотребление. Най-значителен дял във водния баланс за цялата водосборна площ имат изпарението (около 66%) и валежите (фиг. 9).

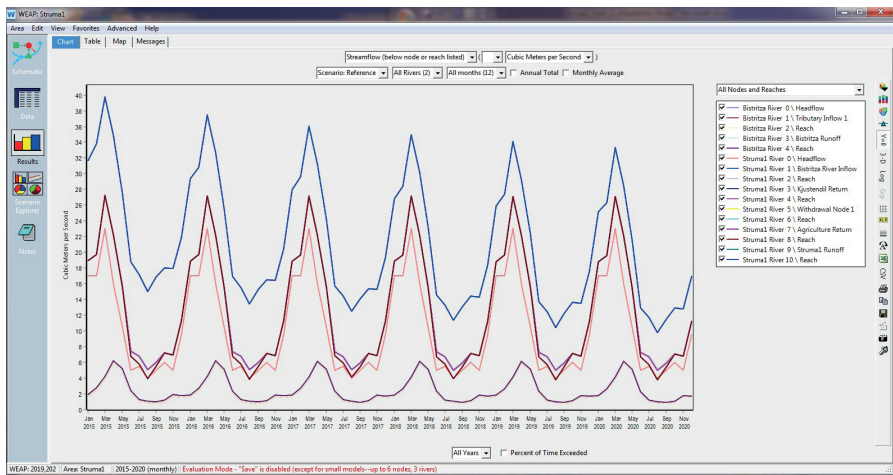


Фигура 8. Графично представяне на водния баланс по райони на водосбора на Места за м. юни 2002 г.



Фигура 9. Параметри на водния баланс за водосбора на Места за целия период

Осигуряваният от WEAP автоматичен достъп до глобален набор от цифрови модели на терена с климатични данни, включително за температура, валежи и скорост на вятъра с ежедневни или месечни стъпки, бе използван за създаване на модел на басейна на река Струма. На фиг. 10 е даден резултат за обема на оттока в различни пунктове на Струма и Соголянска Бистрица (десен приток в района на Кюстендил) по месеци за период от 6 години.



**Фигура 10.** Графични данни от софтуера WEAP за водния отток в  $m^3/s$  в различни пунктове на реките Струма и Соголянска Бистрица за периода 2015 – 2020 г.

С тази дейност екипът в програмата създаде условия за използване възможностите на софтуера WEAP у нас за решаване на практически задачи във водния сектор.

Системата **MULINO DSS** за подпомагане вземането на решение е демонстрирана например за избор на решение за дългосрочно подобряване качеството на речните води с избор на възможни алтернативи за изграждане на пречиствателни станции за отпадъчни води на основните населени места по поречието на Места. Използва методологията DPSIR (Driving Force – движеща сила, Pressure – натиск, State – състояние, Impact – въздействие, Response – реакция) и помага за достигане на оптимално решение. Може да се избира измежду четири подхода за

многокритериален анализ: метод на просто линейно агрегиране (SAW), агрегиране чрез размита логика (OWA), метода TOPSIS и група методи ELECTRE. Методите правят подреждане на алтернативите на основата на допълнителни икономически, екологични и други изисквания, зададени от лицето, което взема решение.

Вземането на решения в различни ситуации на управлението на водните ресурси, включително критични, като наводнения и други, е трудна задача и лицата под силен стрес лесно могат да направят грешки, които да струват твърде скъпо. С помощта на системата **ProDec** е демонстрирано съставянето на набор от правила за реакция при наводнение. Използват се размити (fuzzy) числови и лингвистични оценки, черпейки знания от човешкия опит. Системата се зарежда предварително с детайлните процедури от експерти със знания и опит в предметната област.

Проучените по време на програмата софтуерни и компютърни технологии, споменати тук, могат да се препоръчат за ползване от нашата водостопанска практика. Много примерни практически приложения на тези подходи са представени за наши речни водосбори в нов монографичен труд на Бурназки, Е., Илиев, Р., Кирилов, Л. 2021. *Компютърно моделиране на хидроложки процеси и управление на речни басейни*, София, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, ISBN 978-619-245-192-9.

### **Информационен масив с поредица от хидрометрични данни на повърхностните води на страната**

а) За годишния и месечния речен отток за цялата страна и по хидрогеографски региони (Дунавски, Черноморски и Егейски) за периода 1997 – 2023 г.

б) За месечен и сезонен речен отток на следните речни водосбори с хидрометрични станции (ХМС): Лом (Бърза река) – с. Горни Лом (1953/1954 – 2016/2017), Лом – с. Трайково (1958/1959 – 2016/2017), Огоста – с. Бутан (1935/1936 – 2018/2019), р. Видима – Севлиево (1937/1938 – 2018/2019), Росица – Севлиево (1937/1938 – 2018/2019), Янтра – Велико Търново (1935/1936 – 2018/2019), Струма – Бобошево (1956/1957 – 2015/2016), Струма – Перник (1956/1957 – 2015/2016), Демяница – Банско (1954/1955 – 2018/2019), Крумовица – Крумовград

(1950/1951 – 2014/2015), Арда – Рудозем (1950/1951 – 2014/2015).

в) За месечно разпределение на речния отток и средно многогодишния отток на река Места за периода 1950 – 1990 г. (представени за хидроложка година) по главната река в ХМС „Меча дупка“, „Якоруда“, „Момина кула“, „Хаджидимово“ и на следните 10 притока с ХМС: Черна Места – Софан, Леевещица – м. Леево, Вотрачка – Белица, Бяла – Разлог, Дамяница – Банско, Златарица – с. Елешница, Брезнишка – с. Брезница, Канина – м. Беслет, Канина – с. Огняново, Бистрица – с. Сатовча.

г) Нарушен средногодишен отток на река Места при ХМС „Якоруда“ за периода 1951 – 1983 г., при ХМС „Момина кула“ за периода 1937 – 1983 г. и при ХМС „Хаджидимово“ за периода 1955 – 1983 г.

д) Нарушен най-малък през годината дневен отток на река Места при ХМС „Момина кула“ за периода 1937 – 1983 г. и при хидрометрична станция „Хаджидимово“ за периода 1955 – 1983 г.

е) Най-малки и най-големи месечни водни количества на река Места при ХМС „Хаджидимово“ за периода 1965 – 1983 г.

ж) Нарушен средномесечен отток на река Места при ХМС „Момина кула“ и при ХМС „Хаджидимово“ за периода 1990 – 2003 г.

з) Средномесечни естествени водни количества в три пункта на река Места – ХМС „Якоруда“, „Момина кула“ и „Хаджидимово“ за периода 1990 – 2003 г.

и) Измерени средномесечни водни количества в два пункта на река Места – ХМС „Момина кула“ и „Хаджидимово“ за периода 1983 – 2003 г.

к) Измерени средномесечни водни количества на река Места в ХМС „Момина кула“ за периода 2005 – 2019 г.

### **Геобаза данни за подземните водни ресурси с обработка и визуализация на наличната информация**

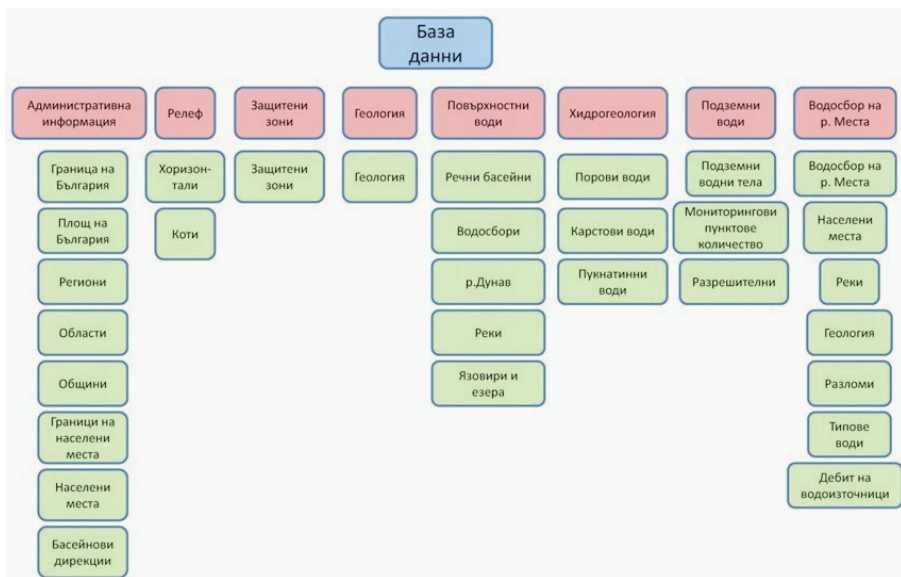
Създадената геобаза данни BG\_GW\_Resources е разработена със софтуер ArcMap 10.5 на ESRI. Базата данни е в координатна система WGS\_1984\_UTM\_Zone\_35N, Projection: Transverse Mercator, Linear Unit: Meter, а структурата и е показна на фиг. 11. В базата данни са включени слоеве от Japan International Cooperation Agency (JICA) от 2008. Слоевете влизат в групите административна информация, релеф, защитени зони, повърхностни води. От геоложката карта на България 1:100 000 под-



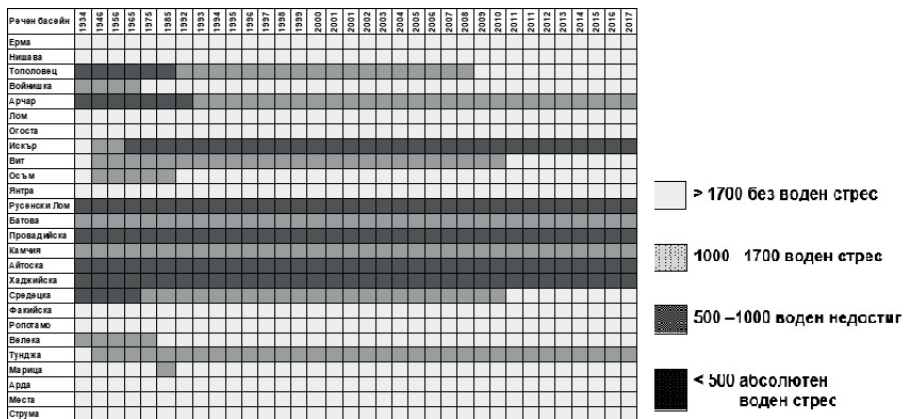
земните ресурси са групирани по типове води. Създадени са векторни слоеве с атрибутивни таблици, съдържащи обработена информация на база на литологията на водоносните пластовете. Включени са слоеве на база на обработени таблици с данни от басейновите дирекции. Към границите на подземните водни тела е привързана информация за естествени, разполагаеми ресурси и свободни водни количества, а също така количества подземни води, необходими за водните екосистеми, по издадени разрешителни и водни количества от кладенци за собствени потребности. Данните са проследени за период от пет години. Обединени са около 400 мониторингови пункта за количество на водите на басейновите дирекции, координатната им система е уеднаквена и данните са визуализирани чрез точков слой. Обработена е информация за около 16 000 издадени разрешителни за водовземане от подземни води на територията на България. Създаденият файл има приложно значение и може да служи за анализи и съставяне на графики, свързани с водните ресурси. Направена е група (dataset), в която са включени създадените векторни слоеве при изследвания за пилотния проект на водосбора на река Места. Базата данни позволява да се извършат редица практически анализи, включително визуализиране на резултатите с работни или нови слоеве и съставяне на удобни карти (фиг. 11).

### **Получени фундаментални резултати**

Оценката на водните ресурси на глава от населението чрез индекса FI, измерван като отношение на средногодишния речен отток и броя на хората в речен басейн, за територията на България варира в широки граници през сухи години (между 207 и 25 333 m<sup>3</sup>/човек/год.) и през много сухи години (46 и 9701 m<sup>3</sup>/човек/год.). Проучванията показват увеличаване през последните десетилетия на броя на речните басейни и на годините, за които стойностите на индекса FI за много суха година са между 1000 и 1700 m<sup>3</sup>/човек/год., което показва воден стрес във водосбора. С траен абсолютен воден недостиг (воден стрес FI < 500 m<sup>3</sup>/човек/год.) през сухи и много сухи години за периода от 1934 г. до 2017 г. се открояват водосборите на реките Русенски Лом, Провадийска, Айтоска и Хаджийска. Годишният отточен обем през сухи и много сухи години обезпечава населението без воден стрес (FI > 1700 m<sup>3</sup>/човек/год.) в речните басейни на Места, Струма, Арда и Ропотамо (фиг. 12).



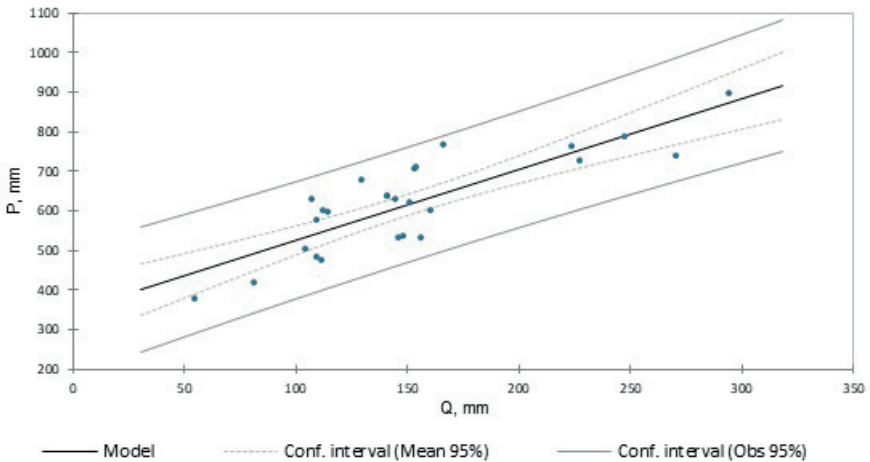
Фигура 11. Структура на базата данни за подземните води



Фигура 12. Индекс FI (м<sup>3</sup>/човек/год.) през суха година (75% обезпеченост) в подобрани речни водосбори на страната

Чрез индекса на климатична еластичност на речния отток е установена тясна зависимост между валежите и речния отток за периода 1997 – 2022 г. (фиг. 13). Коефициентът на корелация е 0,71 при сравнително

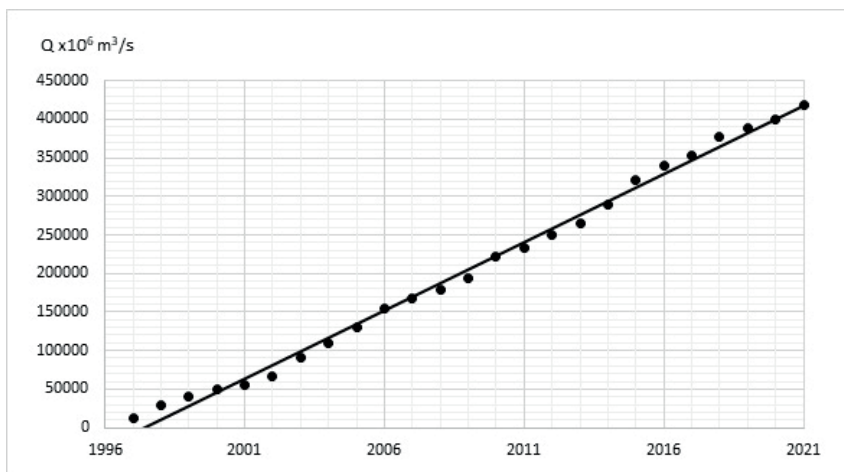
тесни граници на доверителните интервали (95% равнище на значимост).



**Фигура 13.** Линејна регресија между валежи и речен отток за страната с доверителни интервали (95%)

За периода 1997 – 2022 г. средната многгодишна стойност на климатична еластичност на речниот отток на територијата на нашата страна е 0,94, което означава, че изменение на годишното количество на валежите с 10% ще предизвика изменение на речниот отток с 9,4% и този резултат е сходен с резултатите от други автори за много речни басейни в света.

Анализът на хомогенноста на данните от мониторинга на речните води показва, че времевите редове от годишни стойности на речниот отток за територијата на цялата страна и по хидрогеографски региони са хомогенни – всички точки при двојносумарната крива се подреждат плътно до правата линија (фиг. 14).



**Фигура 14.** Двойносумарни криви на годишния речен отток

Направена е оценка на извънредните стойности (outliers) на речния отток на страната. Извънредна стойност е 32 680 млрд. m<sup>3</sup> (за 2005 г.), но е съвсем близо до горната граница по метода z-score или в оградите на Туки. Най-ниската стойност на годишен речен отток за 1997 – 2023 г. е 6038,2 млрд. m<sup>3</sup> (за 2001 г.) и попада в интервала на двете гранични линии. Същите резултати се получават и чрез статистическите тестове на Гибс и Диксон, което дава основание установените извънредни стойности да не бъдат изключвани от по-нататъшните изследвания.

Подземните води са важен компонент на природната среда от значение както за задоволяване на нуждите от вода на човешкото общество, така и за екологията. Те са под влияние на природни, климатични и антропогенни въздействия. За да се установи актуалното им състояние, помага науката хидрогеология. Тя е насочена към практиката, но се основа на методите и подходите на редица фундаментални науки, като математика, физика, химия. Поради това, че подземните води имат сериозно регионално значение за човека като неразривна част от околната среда, новите знания и изследванията за тях имат и известна фундаментална насоченост. Получените резултати в програмата за условията на тяхното подхранване, дрениране и движение, като важни фактори за формиране и оценка на водните ресурси на страната, като цяло, и за

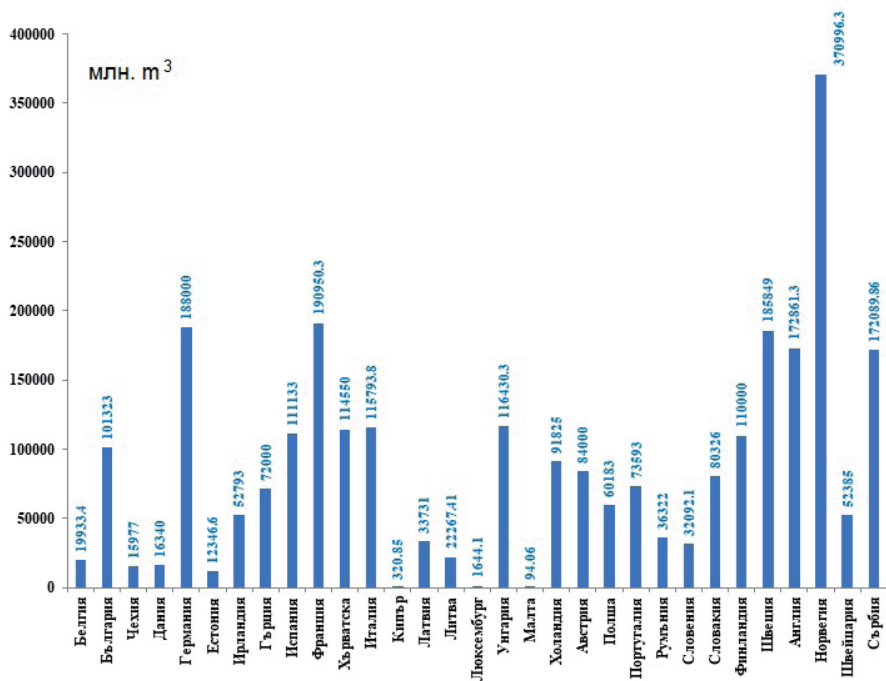
изследваните пилотни територии, обогатяват нашите познания за ролята на климатичните промени и въздействието от човека. Прилаганите тук комплексни методи спомагат за обогатяване на научните теории и модели и за разбирането на фундаменталните принципи на явленията в природата.

### **Получени приложни резултати**

#### **Кратък анализ на водните ресурси на България и тяхното използване в сравнение със страните от ЕС**

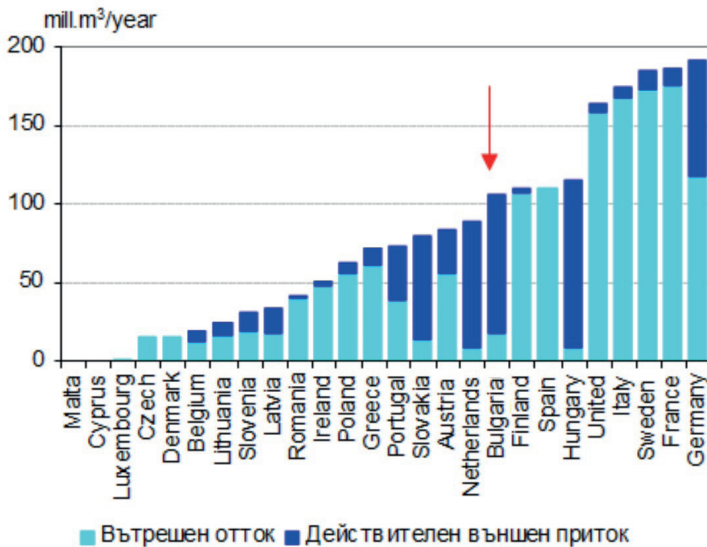
Пресните (сладководни) води са възобновяем природен ресурс. По публикувани данни се оценяват на 106,7 млрд. m<sup>3</sup> годишно, в т.ч. и водите от река Дунав (за 1961 – 2011 г.), като са разпределени неравномерно на територията на страната и в някои региони са недостатъчни. Преобладаващата част от тях се формират от външен приток (84%). (<http://eea.government.bg/bg/soer/2011/water/water1>). В зависимост от климатичните и хидроложките условия водните ресурси се различават значително между отделните европейски страни. Според данните на „Евростат“ възобновяемият ресурс на прясна вода годишно за България с външния приток от Дунав е 101 323 млн.m<sup>3</sup>, или на човек от населението 14 163,55 m<sup>3</sup>/cap. Но над 75% от този обем са транзитни води от река Дунав, използвани за охлаждащи процеси в АЕЦ „Козлодуй“ и връщани обратно в реката, както се връщат във водоизточниците при всяко топлинно енергопроизводство в страната. Същевременно подходът за определяне на външния приток от р. Дунав е твърде различен за страните от Европа (фиг. 15).

При условие че България и Румъния имат обща гранична река – Дунав, с делта на реката на територията на Румъния, е необяснимо различието във външния годишен приток с 85,148 млрд. m<sup>3</sup> за България и само 0,397 млрд. m<sup>3</sup> за Румъния (Източник: „Евростат“). Включването на дунавските води във водния баланс на страната през 2011 г. позволи България да е една от водещите страни в Европа по налична вода, фиг. 16.



**Фигура 15.** Възобновяеми ресурси на прясна вода на страните в Европа при различен подход на отчитане/неотчитане на външния приток, млн. м<sup>3</sup> (Източник: „Евростат“)

Използването на тези данни от „Евростат“ поражда съмнения за тяхната коректност за някои страни, включително за България (фиг. 16). Това води до последващи грешки при изчисляване на експлоатационния воден индекс и други показатели. И стана повод колективът на работната задача от ННП да проведе срещи както със специалисти по водите в страната, така и с експерти от други страни на Дунавския регион за обсъждане на тези различия при определяне на националните водни баланси на европейско ниво. Постигна се съгласие за търсене на възможност за разработване на международен проект за уеднаквяване на методиката за определяне на водния ресурс, както и за изчисляване на необходимия на България воден ресурс от Дунав на база дългогодишни изследвания за използваните води.



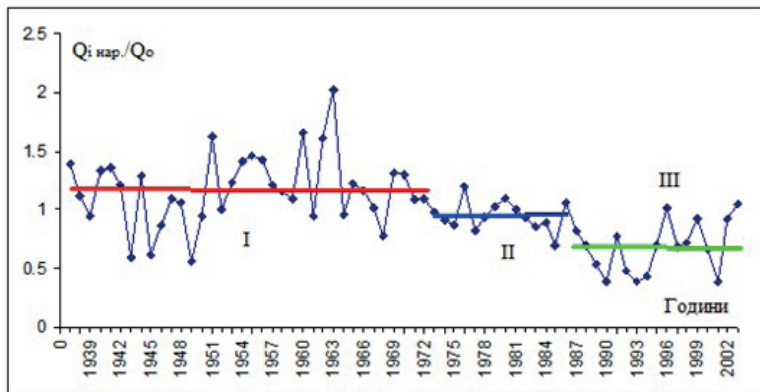
**Фигура 16.** Пресноводни ресурси на европейски страни с различен подход на отчитане на външния приток  
(Източник <http://eea.government.bg/bg/soer/2011/water/water1>)

### Изследване на повърхностни води

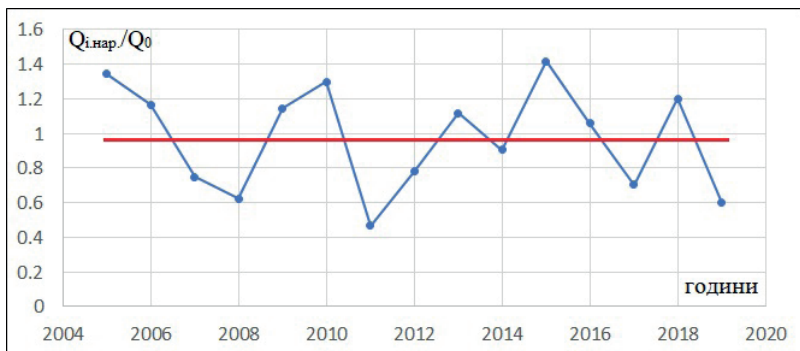
Специално внимание е отделено за проучване на водните ресурси в две съседни високопланински поречия – Места и Доспат, на територията на България. Оценяват се като водно богатство с национална значимост. Двете реки са трансгранични, дрениращи водите в гръцка територия. Проучени са географските, демографските, хидроложките и климатичните характеристики на водосборните области. Подробно са изследвани характеристиките на естествения и нарушения от водоземане отток на реките от началото на хидрометричните измервания до сега. Определен е начинът на формиране на водния отток и неговото многогодишно и вътрешногодишно разпределение с неговата сезонна изменчивост. Водопотреблението за бита и стопанските нужди на територията има малък дял в наличния ресурс. По-съществен дял имат отнетите води от водосборите и прехвърлени в други поречия за производство на електроенергия. Използвайки средногодишния



отток на река Места в ХМС „Хаджидимово“ за периода 1955 – 2003 г., е изчислен експлоатационният индекс WEI+ за периода 1990 – 2003 г. В периода до 1994 г. реката е била подложена на воден стрес от иззетите водни обеми и прехвърлени в други поречия. Анализирани са антропогенните въздействия върху оттока на река Доспат и притоците ѝ и е оценен обемът на водите от реката, които постъпват в Гърция след пускане в експлоатация на хидрокомплексите „Широка поляна“ и „Доспат – Тешел“. На фиг. 17 е показан относителният средногодишен отток на река Места, откакто са започнали измервания в пункт „Момина кула“.



а) за 1937 – 2003 г.



б) за 2005 – 2019

**Фигура 17.** Нарушен (измерен) относителен средногодишен отток на р. Места в ХМС „Момина кула“.  $Q_0$  е норма на оттока за периода 1937 – 2003 г.

Проучен е твърдият наносен отток на река Места на територията на България в три характерни пункта – „Якоруда“ в горното течение на реката, „Момина кула“ в средното и пункт „Хаджидимово“ в долното течение. Наносите са продукт от естествените и антропогенните ерозионни процеси във водосбора и руслото на реката. Количеството им определя мътността на речната вода и допринася за затлачването на водохранилищата. Анализирани са подходите за моделиране на разпределението по дълбочина на концентрацията на плаващи твърди частици (наноси) в турбулентен поток. Направени са анализ и описание на източниците на замърсяване и качеството на водите, на подземните студени води, както и на богатото на термоминерални води поречие на Места (фиг. 18).

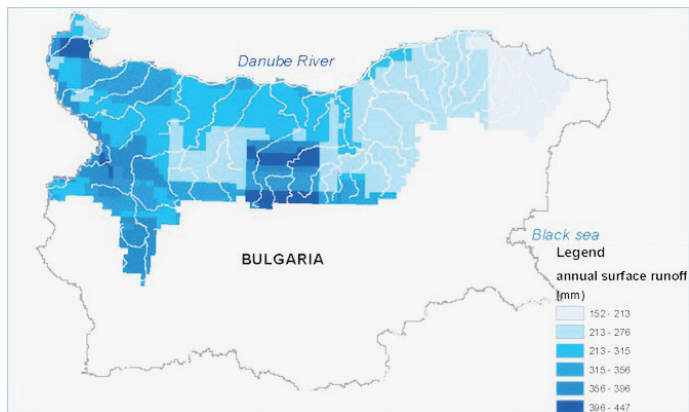


**Фигура 18.** Новоизграден плувен басейн с термоминерални води в с. Баня

Установи се, че твърде малка част от наличните годишни водни обеми се използва на българска територия, останалата, преобладаващата част задоволява нуждите на съседна Гърция без компенсация, което изисква преосмисляне на националните интереси (Ivanov, Bournaski 2024). Резултатите от изследванията са публикувани в монографичен труд Иванов, И., Бурназки, Е., 2024. Водите на две съседни български реки – Места и Доспат, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, ISBN 978-619-245-335-0 (Ivanov, Bournaski 2024).

Осъществен е хидроложки анализ с модела CLM на българския водосбор на река Дунав, който е почти половината от територията на страната, с цел определяне на потенциалните водни ресурси – повърхностен отток и подземно подхранване. В този район моделът е верифициран с данни от спътникови наблюдения на почвена влажност и индиректни оценки на подземното подхранване. Изчисленият воден

баланс за българския водосбор на Дунав за многоводната 2018 г. дава годишни стойности на валеж от 1160 мм (дъжд – 939 мм, сняг – 222 мм) и изчислени параметри на оттока като годишни стойности, съответно повърхностен отток 286 мм и почвена инфилтрация 233 мм (фиг.19). Проведеното съпоставяне на симулираните оценки с получените по други индиректни методи, като хидрометрични и хидрогеоложки измервания, дава основание да се приеме, че моделните резултати са надеждни и приложими за различни задачи от водния сектор.



**Фигура 19.** Моделни резултати за годишни стойности на повърхностен отток (мм) на Дунавския речен басейн за влажна година, 2018 г.

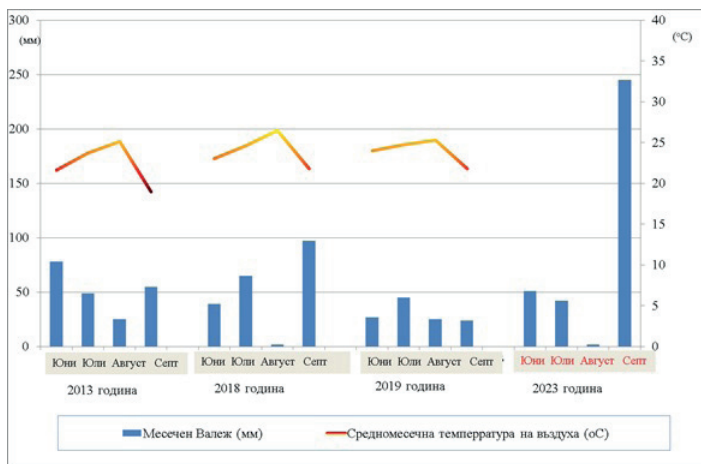
Анализирани са хидроклиматичните условия на планинския водосбор на язовир „Студена“ на Витоша за периода 2017 – 2020 г. чрез тестване на методиката на снежна хидрология на математическия модел CLM version 3. Височината на снежната покривка е сравнена с измерванията на НИМХ във водосбора. Заложената в модела входна информация е взета от климатичната база данни на NCEP/NCAR reanalyses. Допълнително резултатите от моделирането за водния еквивалент на паднал сняг и снежно покритие са сравнение с данни от сателитни наблюдения на EFAS за доказване надеждността на моделните симулации. Изследването помогна да се разкрият част от причините за намаления обем на язовира и настъпилата водна криза в гр. Перник и областта през 2020 г. Резултатите от цялостния анализ показват, че антропогенни фактори, включително неефективно управление с източване на води

за извършване на ремонтно-строителни дейности на язовирната стена на сухо (постъпилите водни количества в ПСПВ – Перник, са по-малко от изетите от язовира), в съчетание с климатични фактори от настъпилото засушаване са основни причини за настъпилия недостиг на вода в района на Перник през 2019 – 2020 г., довели до тежък „сух“ режим на над 120 000 души за период от 8 месеца. Случаят с водната криза подчертава изключителното значение на институционалния капацитет и спазването на законовите норми при управлението на водите и водната инфраструктура (Nitcheva et al. 2021).

Разгледани са водните ресурси и водопотреблението за територията на Черноморска басейнова дирекция, където част от водните тела са в лошо екологично състояние. Установено е интензивно водочерпене от кладенци в Североизточна България от натурни изследвания (1970 – 2023 г.), което активизира процесите на морска интрузия.

Във връзка с наводнението в района на Царево в Южното Черноморие през септември 2023 г. е направен анализ на хидроложките и метеорологичните условия и земното покритие, за да се търсят механизъм и политики за управление на водните ресурси в райони, уязвими към наводнения. Резултатите за летни месеци от юни до септември са наблюдавани и моделирани параметри за района показват (фиг. 20), че обилните валежи се превръщат в нормално явление за месец септември по Южното Черноморие и че след безвалежен август могат да се очакват поройни валежи през септември, за които отговорните за предпазване от наводненията институции трябва да са подготвени.

Оценени са базисният и подземният отток във водосборния басейн на река Янтра. Разгледани са два водосбора от горната част на басейна – река Янтра при Велико Търново и нейният приток река Росица при Севлиево, разположени в Централна Северна България. За целите на изследването са избрани два 6-годишни периода – 1957 – 1962 г. и 2000 – 2005 г. Сравнението на базисния отток и оттока на подземните води показва сходство на съответните времеви редове за двата изследвани водосбора. Очевидно това се дължи на сходните физико-географски и геоложки условия. Има обаче осезаема разлика в динамичните редове за двата периода, като за първия период сезонните разлики са по-значими, а идентифицирането на причините изисква допълнителни изследвания.



**Фигура 20.** Резултати от симулации на валежи със CLM модела и измерени температури от НИМХ за Югоизточния черноморски район (за нормално влажна година – 2013, влажна година – 2018, суха година – 2019, и годината на наводнението – 2023)

Изследвани са месечният и сезонният отток във високопланински речни водосбори в Пирин планина (Hristova et al. 2020). Тъй като изучаването на хидроложкия цикъл и отточната динамика във високопланински речни водосбори представлява предизвикателство за изследване в теоретичен и практико-приложен аспект поради физическата недостъпност за хидрометрични наблюдения, е извършена оценка на месечния и сезонния речен отток в речен водосбор от североизточния склон на Пирин планина (р. Демяница) за два периода: първи – 1954 – 1985, и втори – 1986 – 2018. Резултатите показват, че месечният и сезонният отток през втория период нарастват в сравнение с първия период; не се регистрират изменения в конфигурацията на месечния хидрограф; речният отток през лятно-есения хидроложки сезон се увеличава през втория период спрямо първия; честотата на месечния максимум през втория период е с по-голяма устойчивост в сравнение с първия период. Получените емпирични резултати дават нови сведения за отточната динамика и за оценка на водните ресурси за високопланински дренажни басейни в Пирин планина.

Анализирани са отточният режим и предсказуемостта на речния

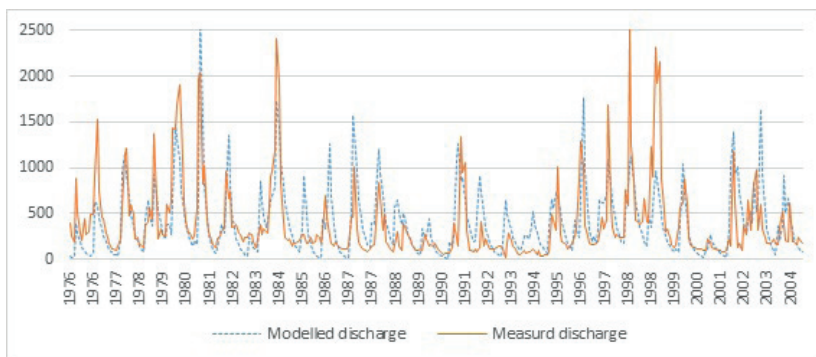
отток в басейна на р. Демяница – Банско (Hristova et al. 2021). Приложен е индексът на Colwell, който досега не е използван в хидроложките и хидрогеоложките изследвания за територията на страната. Отточната динамика в речния басейн със средна надморска височина над 2000 m (без антропогенни въздействия) показва устойчивост на оттокообразуващите фактори в рамките на периода 1953/1954 – 2017/2018. Речният отток на р. Демяница може да послужи за индикатор за многогодишната отточна динамика във високопланинските територии на страната. Индексът на предсказуемост, предложен от Colwell, осигурява количествена оценка за стохастичност и цикличност и допълва традиционните методи за анализ на устойчивостта на сезонното разпределение на речния отток.

Изследвани са дългосрочните вариации на месечния и сезонния отток във водосборния басейн на р. Росица (Hristova et al. 2021). Представени са историческите вариации в месечните максимуми и минимуми на потока при три хидрометрични станции за периода 1936 – 2019 г. Тенденциите за времевите редове са оценени с помощта на линейна регресия на най-малките квадрати, като резултатите показват широки граници на колебания на месечните максимуми и минимуми. Установени са две противоположни тенденции: намаляване оттока на р. Росица и увеличаване оттока на р. Янтра при Велико Търново. Получените резултати показват и хидрологичния отговор на изменението на климата след 1985 г. – промяна във времето на месечните максимуми и увеличаването на честотата на месечните минимуми през август и септември. Възможната причина за резултатите от изследването е промяната в модела на валежите и снеговалежа след 1985 г., в т.ч. ранно топене на снега, повече валежи през април в сравнение с май и по-малко валежи през октомври, отколкото през август и септември.

### **Изследване на водния режим на извори**

Анализирани са режимът и водният баланс на два карстови извора от Ловешко-Търновския карстов басейн (Orehova, Gerginov 2021a). Обект на изследване е оттокът на изворите при селата Крушуна и Мусина (в Северна България, поречията на реките Осъм и Янтра). Изворите дренират варовиците на Деветашката и Еменската свита (долна креда), като са силно уязвими към засушаване, предвид ниските статични за-

паси поради липсата на условия за дълбока карстификация. Резултатите от изчисленията на водния баланс показват, че моделираните с WaterbalANсе времеви редици на изворния отток дават приемливи резултати с най-големи разлики с измерените от НИМХ при екстремните (високи и ниски) месечни стойности на оттока на изворите (фиг. 21). Подобни резултати са получени и за извора Крушуна.



**Фигура 21.** Среден месечен измерен и моделиран отток за извора Мусина, L/s

Най-силно влияние върху режима оказват засушаванията, особено през студеното полугодие, дори когато количеството на валежите през топлото полугодие е около нормата. Очевидно зимните валежи са най-важният източник на подхранване на подземните води в карстовия басейн. Извършена е оценка на възможното влияние на изменението на климата върху оттока на същите два извора (Orehova, Gerginov 2021b), като за целта са разгледани серия от сценарии, включително базов сценарий (1976 – 2000 г.). Входните данни са получени чрез съответните промени във времевия ред на температурата (+1,5 °C и +3,5 °C) и валежите (10 % намаление на валежите). Резултатите от изчисленията на водния баланс показват отрицателното влияние на повишената температура чрез намаляване на дебита за извор Мусина съответно с 13 % и 25 %, само при тази промяна на температурата. Допълнително намаление на валежите с 10 % ще доведе съответно до 33 % и 44 % спад на средния дебит. Подобни резултати се получават и за дебита на извор Крушуна. Като цяло, тези резултати показват сериозното отрицателно въздействие на бъдещото изменение на климата върху оттока на изследваните извори.



Извършено е моделно изследване на режима и водния баланс на големия карстов извор Искрец в Северозападна България. Моделиран е дебитът на извора и е оценена площта на подхранването му. Получената стойност със софтуера WaterbalANce (167 km<sup>2</sup>) изглежда по-висока в сравнение с площта, очертана по геоложката карта (135 km<sup>2</sup>). Очевидно са необходими допълнителни изследвания. Средногодишният отток, получен по модела WaterbalANce, е 331,8 mm/a, което съответства на модула на оттока 10,6 L/s/km<sup>2</sup>.

Оценени са климатичните влияния върху дебита на три извора в Северна България. Установено е, че дебитните цикли могат да корелират с валежите в зависимост от местоположението на извора и типа на водоносния хоризонт. Изворният дебит зависи от валежите само в случай на бързо достигане на повърхностните води до подземните такива. В противен случай бавният пренос на водата осигурява достатъчно време за изпаряване, при което температурните промени значително повлияват на количеството пренесена вода от повърхността към водоносния хоризонт. Във втория случай дебитните вариации на изворите корелират с индекса на засушаване, чиито вариации са функция както на валежите, така и на температурата.

Изследвани са хидрогеоложките условия в зоната на дрениране на извор Глава Панега (Gerginov, Benderev 2023) с цел изясняване особеностите на разкриване на водите му на повърхността. Проведени са геофизични проучвания по три профила. Обработените резултати показват, че освен основния приток, идващ от открития от леководолази канал, се установяват зони на постъпване на възходящи подземни води през дънните наслаги на езерото, като някои от тях могат да се установят и визуално. Пътищата на постъпване на подземни води са неравномерно разпределени, което предполага, че са свързани с окарстени зони. Изворът Глава Панега представлява сложна карстова система и се препоръчва опазване на този природен феномен, по-ефективното използване на водите му и установяване на влиянието на климатичните промени.

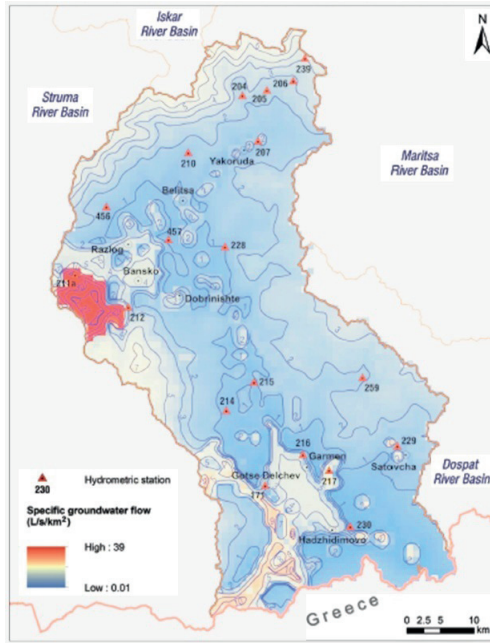
### **Моделiranje режима на подземните води**

Моделирани са водните нива в два наблюдателни кладенеца: Мизия (N 585) и Дъбово (N 273), съответно от басейните на р. Огоста и р. Тунджа. Първият кладенец разкрива алувиалните отлагания, а вторият – пролувиални наслаги. Използван е софтуерът AquiMod, моделиращ всички основни елементи на водния баланс и позволяващ реконструиране нивата на подземните води, за да се удължат относително кратките редици от наблюдения. Резултатите показват, че този софтуер е перспективен метод за анализиране режима на водоносен хоризонт и е препоръчителен за използване в хидрогеоложката практика на България.

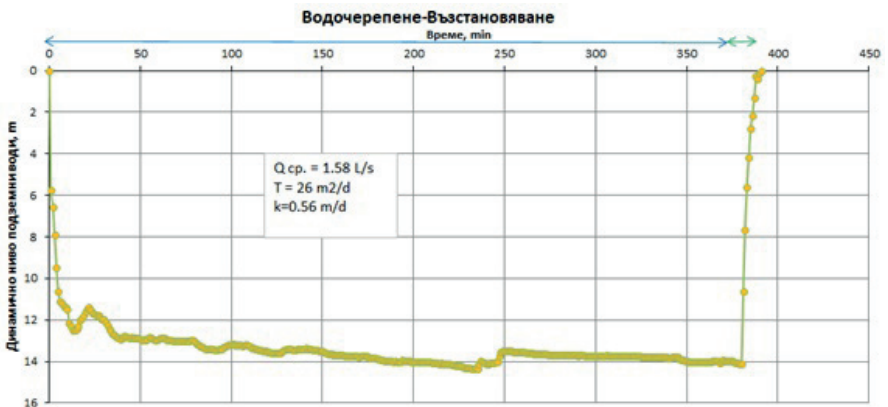
Изследвани са пространствените и времевите вариации на приноса на подземните води към водния отток в басейна на река Места (Orehova et al. 2024). Определено е пространственото разпределение на стойностите на модула на подземния отток чрез обработка на средномесечни данни за дебита от периода преди силното антропогенно въздействие върху речната система. Получена е зависимост от средната височина на водосбора, като на тази база е изготвена карта на модула на подземния отток с допълнително отчитане на увеличени стойности за карстовите области (фиг. 22). Представените резултати са подходяща основа за решаване на проблеми с количествена оценка на въздействието на изменението на климата върху подземните води.

### **Провеждане на водочерпателни опити**

– Извършени са водочерпателни опити в различни сондажи с цел установяване експлоатационните дебита на съоръженията въз основа на филтрационните свойства на водоносните хоризонти. Опитът в гр. Божурище, Софийска област, е извършен в изграден сондаж с дълбочина 55 m с пясъци и чакъли с неогенна възраст (фиг. 23). Разкрити са порови подземни води. Характерът на средата определя ниските скорости на движение на водите и по-високата им водообилност в северо-западната част на Софийската котловина.



Фигура 22. Карта на модула на подземния отток за басейна на р. Места

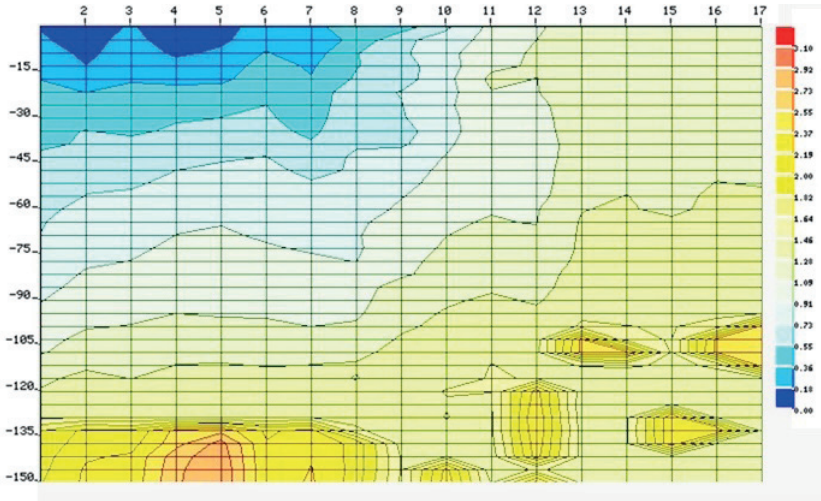


Фигура 23. Водочерпене и възстановяване нивото на сондаж в гр. Божурище, София-област

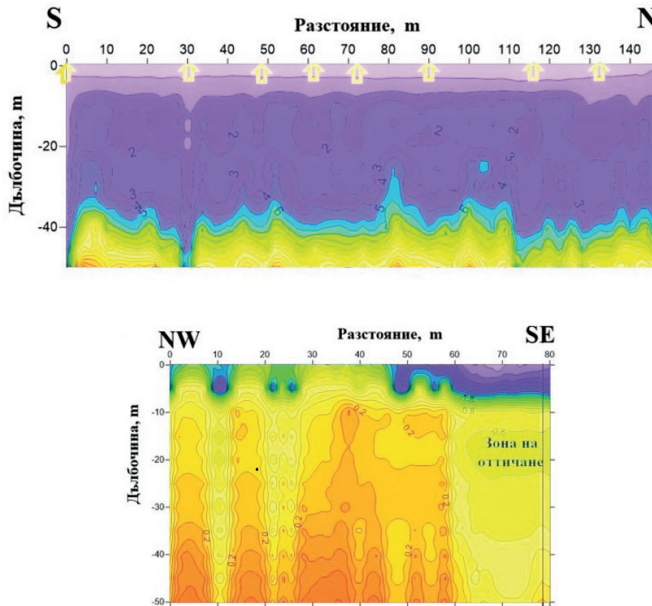
### **Геофизични проучвания за хидрогеоложки цели и локализиране на водообилни зони**

Приложеният за геофизично проучване SP метод (метод на собствения потенциал) позволява да се получи информация за геоложката структура, изяснява дебелината на ненаситената зона (между терена и нивото на подземните води), наличието на разломи, литоложкия строеж и степента на водообилност в дълбочина. Проведеното пилотно изследване допълва досегашните геоложки и хидрогеоложки проучвания в района на Разложката котловина, доказва перспективността на приложения метод за хидрогеоложки цели и спомага за изясняване на локалните хидрогеоложки условия. Анализирани са геолого-тектонските предпоставки за филтрационната нееднородност на отложенията в района на Гоцеделчевската котловина (Gerginov 2021), които предопределят степента на тяхната водоносност. Потвърдено е наличието на разломи и е определена дълбочината на фундаментните скали под седиментната покривка. Като цяло, прилагането на SP метода даде ценна допълнителна информация за локалните особености на изследваните обекти в котловината. Построеният профил при с. Ново Лески (фиг. 24) обхваща разломната зона в периферията на Добростанската мраморна свита (западен край). Това е предпоставка за акумулиране на вода в дълбочина, както и за поява на извори в обсега на зоната.

Аналогично проучване в гр. Стрелча демонстрира възможността за добив на подземни води в пукнатинна среда. Активно движение на подземните води, свързано с валежите, се наблюдава до 20 m, като в дълбочина подземни води са налични в слаби и напукани зони. Използвайки SP метода, са оценени хидрогеоложките условия в района на извор Глава Панега, като е отразено взаимодействието между подземни и повърхностни води в карстова среда. Получените резултати показват съществуването на естествена хидравлична връзка между двете езера на повърхността (фиг. 25).



Фигура 24. Резултати от геофизичното проучване – профил 1, с. Ново Лески, mV



Фигура 25. Зони на разтоварване на подземни води от извор Глава Панега в голямото езеро и хидравлична връзка между двете езера

Локализирани са перспективни зони за разкриване на подземни води в пукнатинни масиви на примера на община Брезово, Пловдивска област (Kolev et al. 2023). Изградените каптажи в проучвания район дават недостатъчни водни количества, което в комбинация с недоброто състояние на „ВиК“ мрежата налага търсене на алтернативни водоизточници. Проучването бе насочено към оценка възможностите за изграждане на сондажи, които да черпят пукнатинни подземни води. След прокарани 11 геофизични профила по SP метода са избрани три локации за проучвателно сондиране. И в трите последвали сондажа до дълбочина 150 m са разкрити подземни води с дебити, удовлетворяващи конкретните местни нужди на селата: Свежен – 1,5 l/s, Розовец – 2 l/s, и Чехларе – 0,4 l/s. Настоящото проучване показва, че за допълнително водоснабдяване на проблемните населени места, попадащи в рамките на пукнатинни масиви, е целесъобразно изграждането на сондажи.

### **Съдействие на държавни и общински органи, стопански субекти, НПО и др. и препоръки за различни политики**

#### **Съдействие на звената на МОСВ**

Дадено становище по Плана за възстановяване и устойчивост на Република България в сектори ВиК и хидромелиорации с препоръки за подобряване на инвестиционните предложения. Предоставено с писмо № 114/ 26.05.2021 на ИИКАВ-БАН на вицепремиера по управление на европейските средства на България и на МОСВ.

Дадени препоръки във връзка с изготвяне на новите Планове за управление на речните басейни (ПУРБ) за периода 2022 – 2027 г.

Изготвени становища по актуализираните Планове за управление на риска от наводнения (ПУРН) 2022 – 2027 г. (задание за определяне обхвата и съдържанието на доклад за екологична оценка).

Дадени становища за проектозакона за ВиК (2023 г.) и за прилагане на индикатора за устойчиво развитие (UN SDG 6.5.1) за интегрирано управление на водните ресурси през 2023 г.

Представено експертно мнение по „Актуализирана методика за предварителна оценка на риска от наводнения“. Представените от колектива коментари и препоръки са разгледани на заседание на Управляващия комитет, който по преценка, че в по-голямата част са основа-

телни, връща на Международната банка за възстановяване и развитие методологичния документ за доработка. Получено благодарствено писмо от МОСВ и изказано желание за сътрудничество с колектива на работния пакет.

Проведени национални обсъждания с погълване на въпросник SDG 6.5.1 (degree of implementation of IWRM in Bulgaria Survey 2020) относно напредъка по изпълнението на интегрирано управление на водните ресурси в България по Програмата за околна среда при ООН – UNEP през 2020 г. на два етапа: на 7 юли 2020 г. в БАН с над 20 експерти по водите от академичната общност, на 9 юли 2020 г. проведена онлайн конференция (Cisco Webex Conference) с 32 представители от различни институции в страната. Доклад с резултатите от тези обсъждания (на английски език) е представен за ползване от МОСВ и Министерството на външните работи, с което се подпомогна националното отчитане на индикатора UN SDG 6.5.1 – IWRM пред UNEP.

Изготвено становище с представен доклад до Министерския съвет за актуализиране на новата наредба за изменение и допълнение на Наредба № 9 от 2001 г. за качеството на водата, предназначена за питейно-битови цели.

### **Съдействие на други организации**

Учени от екипа на програмата подготвиха и представиха пред ученици образователни модули за процесите в хидросферата по проект „Климатична кутия“ на ИИКАВ – БАН, финансиран по Програма „Образование с наука“ на МОН и БАН през 2019 – 2020 г. Модулите бяха представени на ученици от V до IX клас в три партньорски училища в София, Пловдив и Бургас и предоставени на учителите за ползване.

Членове на екипа на програмата като ключови експерти бяха поканени от международната инициатива Youth Voices – Policy Choices и участваха в среща диалог с млади специалисти по водите на 9 октомври 2019 г. в УАСГ – София.

Проведена пресконференция в БТА на 6 август 2019 г. относно решения на „Софийска вода“ АД и КЗК за доставка на коагулант за пречистване на софийската питейна вода.

Проведено проучване съвместно с „ВиК“ ЕООД – Пловдив, на во-



доснабдителната система на с. Брестовица на 23 – 24 юни 2021 г. по искане на „Български ВиК холдинг“ ЕАД и изготвена препоръка с първоначални мерки за преодоляване а замърсяването на водата в селото с манган.

Организираны междуведомствени работни срещи на тема „Осигуряване на устойчиво и дългосрочно питейно-битово водоснабдяване на Хасковска и Пловдивска област с води от каскада Доспат – Въча“ в Областната администрация на Пловдив и в сградата на МРРБ в София през 2022 г.

Проведена Национална среща дискусия на тема „Асоциациите по ВиК –предизвикателства и решения“ съвместно с областните управители на Шумен, Велико Търново, Русе, Габрово, Разград, Варна и Силистра на 15 юни 2022 г. в сградата на БАН в София.

Учени от програмата съдействаха ИИКАВ – БАН (координатор на РП.1.2. „Воден баланс и водни ресурси на страната от ННП“) да бъде определен за български представител (Focal Points) на International Network of Water Environment Centers for the Balkans (UNESCO/INWEB) – информационна мрежа на водещи балкански центрове по водите със седалище в Солун, Гърция.

## **Препоръки**

ННП програмата препоръчва да се разработи и приложи единна методика за определяне на националния воден ресурс на европейските страни от територията на Дунавския басейн и граничещи с реката, като се въведе равнопоставеност при отчитане на външния приток на води от Дунав. Използваните сега данни от „Евростат“ за водните ресурси в Европа пораждаат съмнения за тяхната коректност, където България има външен годишен приток от 85,148 млрд. m<sup>3</sup>, а Румъния – само 0,397 млрд. m<sup>3</sup>, което е необяснимо. Така България ще се постави на точното ѝ място на картата на водните ресурси на Европа.

Препоръка към вземащите решения, споделяна по време на различни форуми в страната, е да се подобри мониторингът на водните ресурси, като се поставят подходящи измервателни устройства при водоземанията, както и провеждане на хидрологични изследвания през четирите сезона на годината на ресурса от даден водоизточник. Тези мерки ще

гарантират издаването на адекватни разрешителни за водоползване, отговарящи и на наблюдаваните климатични промени.

Научното обслужване и дейността на НИМХ по ежедневните измервания на климатичните параметри и речния отток на територията на страната са бюджетно финансирани дейности и се препоръчва тези мониторингови данни да са свободно достъпни за научни изследвания, както оперира настоящата бюджетно финансирана ННП програма. Нуждаем се от отворени данни във водния сектор с отворен софтуер и сътрудничество, за да се справим с многото и все по-трудни предизвикателства. Достъпът до отворени данни ще подобри научно-приложното обслужване на водния сектор у нас.

През последните десетилетия се забелязва недостиг на инженерни кадри у нас, висшето ни образование не осигурява достатъчен брой специалисти за нуждите на водния сектор. Предложението е МОН да формира финансов ресурс за насърчаване на насочени фундаментални и приложни изследвания с 3-годишни докторантури по проблемите на водите.

### **Препоръки за трансграничната река Места**

Да се преустанови изземването на инертни материали от коритата на река Места над и под хидрометрична станция № 52850 „Хаджидимово“, с което се въздейства върху нормалната работа на станцията.

Нужни са модернизация на съществуващата мрежа и оборудване за оценка на качеството на речните води. Необходимо е уеднаквяване на оборудването с използваното в Гърция за измерване на водни количества и за оценка на качеството на водата, както и на методиките и методите за обработка на данните.

Целесъобразно е изграждане на нова хидрометрична станция за мониторинг на водите на Места между България и Гърция в най-подходящото за целта място до границата в съчетание с мониторинг на качеството на водите.

### **Международно сътрудничество**

Благодарение на работата ни в ННП се включихме в европейската програма COST action “Offshore freshened groundwater: An unconventional

water resource in coastal regions (OFF-SOURCE), 2022 – 2026“. Изследването от наша страна е свързано с „Природни и антропогенни фактори за активиране на морската интрузия в северната част на българския черноморски басейн“. Прави се хидроложки и водностопански анализ на района както с мониторингови наблюдения, така и с хидроложки моделни изследвания с търсене на алтернативни източници на вода.

Установено бе сътрудничество с участници от дунавските страни в проекта по трансгранично сътрудничество „Подобряване качеството на водите в река Дунав и нейните притоци с интегративно управление на заливните равнини, базирано на екосистемни услуги“ (Improving water quality in the Danube river and its tributaries by integrative floodplain management based on Ecosystem Services, IDES) юли 2020 – декември 2022 г. По време на изпълнението подпомогнахме изготвянето на доклади за целия Дунавски басейн на теми: Navigation on the Danube River; Hydropower in Danube River Basin. Взехме участие в работните групи за качеството на водите и оценка на представените изследвания.

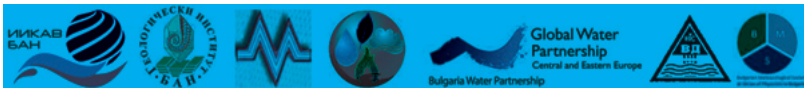


Установена бе връзка и партньорство с румънски експерти по водите от Националния институт по хидрология и управление на водите – Букурещ, Румъния. На 1 юли 2019 г., по случай Деня на река Дунав, в сградата на НТС в София, съвместно с Научно-техническия съюз по водно дело при ФНТД, проведохме национална конференция за изясняване на методологията за водния ресурс и водния баланс на страните от Дунавския басейн. Стигна се до съгласие за необходимостта от въвеждане на единна методика. Поканените от нас румънски учени представиха следните доклади: „Surface Water Resources in Romania“ от научния секретар на Института Viorel Chendes и „Water management in Romania and good practices of Danube cross-border cooperation with Bulgaria“ от н.с. Alexandru Moldoveanu. Присъстваха директорът на Дирекцията по водите при МОСВ, специалисти от МОСВ и басейновите дирекции, от „Напоителни системи“ АД, от университети, от БАН и гости.

## **Разпространение и популяризация на резултатите**

Колективът на РП.І.2. Воден баланс и водни ресурси на страната с

участниците от ИИКАВ – БАН, Института по механика – БАН, и Геологическия институт – БАН, организира в продължение на пет последователни години научна конференция „Климат, атмосфера и водни ресурси в условията на климатични промени“ (Climate, atmosphere and water resources in the face of climate change) в София, (14 – 15.10.2019 г., 15 – 16.10.2020 г., 14 – 15.10.2021 г., 14 – 15.10.2022 г., 12 – 13.10.2023 г.), съвместно в синергия с работен пакет РП.І.3. Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни) от ННП и в сътрудничество с Глобалното партньорство за водите в България, Научно-техническия съюз по водно дело към Федерацията на научно-техническите съюзи и Дружеството на метеоролозите към Съюза на физиците в България, с публикуване на сборник на английски език.



С конференцията се стимулира мултидисциплинарно партньорство между изследователски екипи с различна научна насоченост, както и включване на повече заинтересовани страни и трансфер на получените резултати и знания към съответните управленски органи на национално и регионално ниво. Конференцията постави началото на периодичното списание на ИИКАВ – БАН „Climate, Atmosphere and Water Research“ издание на Pensoft Publishers.

Колективът на програмата и ИИКАВ – БАН, провеждат ежегодно чествания на Световния ден на водата и Деня на метеорологията 22 – 23 март в зала „Проф. Марин Дринов“ в сградата на БАН, София (с едно виртуално честване през 2021 г.), съвместно с Българската асоциация по водите (БАВ), Глобалното партньорство по водите България, с участници от институти на БАН, университети, граждани, специалисти от водния сектор и водещи фирма в тази сфера. През март 2022 г. в честванията се организира и национална конференция с дискусия на кръгла маса на тема „Перспективи за развитие на водния сектор на България“. Честването се проведе с участие на директори на институти на БАН, специалисти от БАВ, много гости заедно със заместник министър-председателя и министъра на регионалното развитие и благоустройството Гроздан Караджов, заместник министър-председателя по климатични политики и министър на околната среда и водите Борислав Сандов, заместник-ми-

нистъра на образованието и науката акад. Константин Хаджииванов, председателя на Парламентарната комисия по околна среда и води Манол Генов, заместник-председателя на БАН чл.-кор. Евдокия Пашева и координатора на ННП „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ чл.-кор. Константин Ганев от БАН, който представи резултати от изпълнението на ННП (фиг. 26). Мероприятието бе широко отразено в медиите. Честването на Световния ден на водата и Световния ден на метеорологията 22 – 23 март 2023 г. бе съпроводено с организиран от БАН фотоконкурс „Природата на водата“ с изложба в БАН. Зам.-министърът на МОСВ Ренета Колева връчи награди на победителите в Конкурса. В двудневния форум се проведеха дискусии по важни за България теми, като управление на водите в страната, водните ресурси в условията на климатични промени, качество на атмосферния въздух и здраве, иновативни решения за намаляване на човешкия отпечатък върху природата и други. Учители и ученици от 203-та профилирана езикова гимназия „Свети Методий“ представиха проекти в областта на климатичните промени.



**Фигура 26.** Гости и участници в честване на Световния ден на водата на 22 март 2022 г. в сградата на БАН

Проведеха се редица участия и разговори на живо с доц. д-р инж. Галя Бърдарска от колектива на програмата в „Студио Хъ“ на 7/8 TV по актуални проблеми за водните ресурси и питейните води на България през 2020 г. и 2021 г., като „Наводненията и качеството на водата“, „Новите проекти и новите цени на ВиК услугите“, „Виновните за водната криза в Перник“, „Има ли проблем с ВиК инфраструктурата в София“, „Плащаме за мръсна вода от чешмите“ и др.

Проф. д-р Емил Бурназки участва на живо на 10 септември 2023 г. в предаването „Всяка неделя“ на Българското национално радио с водещ Явор Стаматов във връзка с катастрофалното наводнение в Южния черноморски район в началото на септември 2023 г. и представи работата по ННП програмата.

Резултатите от програмата са публикувани в редица международни издания, в две научни монографии – Бурназки Е., Р. Илиев, Л. Кирилов (2021) *Компютърно моделиране на хидроложки процеси и управление на речни басейни*, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, ISBN 978-619-245-192-9, и Иванов, И., Бурназки, Е., (2024) *Водите на две съседни български реки – Места и Доспат*, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, ISBN 978-619-245-335-0 (фиг. 27), както и популяризирани на международни конференции на European Geosciences Union, на International Association for Hydro-Environmental Engineering and Research (IAHR), на Българското геологическо дружество и др. Първата монографията е разпространена и предоставена на заинтересованите министерства МОСВ, МРРБ, МЗХ, „Напоителни системи“ АД, НЕК, Изпълнителната агенция по околна среда при МОСВ, на четирите басейнови дирекции на МОСВ в Плевен, Благоевград, Варна и Пловдив и до библиотеките на УАСГ, СУ „Св. Кл. Охридски“, ЛТУ и МГУ и др.



**Фигура 27.** Две научни монографии отпечатани от Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“

## ЛИТЕРАТУРА

- БУРНАЗКИ, Е., ИЛИЕВ, Р., КИРИЛОВ, Л. 2021. *Компютърно моделиране на хидроложки процеси и управление на речни басейни*, София, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, ISBN 978-619-245-192-9.
- ГЕНЕРАЛНИ СХЕМИ, 2000. *Генерални схеми за използване на водите в районите за басейново управление*, Институт по водни проблеми, БАН, С., 2000.
- ИВАНОВ, И., Е. БУРНАЗКИ, 2024. Концепция на Република България за използване водите на река Места, *Списание на БАН*, No.1, 2024, с. 3-7, ISSN 0007-3989 (print), ISSN 2683-0302.
- ИВАНОВ, И., БУРНАЗКИ, Е., 2024а. *Водите на две съседни български реки – Места и Доспат*, София, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, ISSN: 978-619-245-335-0.
- НИЧЕВА, О., ВАТРАЛОВА, А., ШОПОВА, Д., ДОБРЕВА, П., 2021. Природни и антропогенни фактори за недостига на вода в гр. Перник през 2019 – 2020 г. *Списание на Българската академия на науките*, СХХХIV, 1, 2021, с.25-32, ISSN:0007-3989 (print), 2683-0302 (on line).
- ХРИСТОВА, Н., Т. ОРЕХОВА, О. НИЧЕВА, 2020. Отточна динамика във високопланински речни водосбори в Пирин планина. *Book of Proceedings*, Volume 2, Second Scientific Conference “Climate, atmosphere and water resources in the face of climate change”, p. 206 – 213, ISSN: 2683-0558.
- ХРИСТОВА, Н., ОРЕХОВА, Т., НИЧЕВА, О., 2021. Устойчивост и предсказуемост на речния отток на река Демяница – Банско. *Годишник на Софийски университет „Св. Климент Охридски“*, Геолого-географски факултет, № 113, СУ „Св. Климент Охридски“, с. 161 – 176, ISSN: 0324-0525.

## REFERENCES

- BOURNASKI, E., ILIEV, R., KIRILOV, L., 2021. *Komputarno modelirane na hidrolojki procesi i upravlenie na rechni basenji*, Sofia, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, ISBN 978-619-245-192-9.
- GENERALNI SHEMI, 2000. *Generalni shemi za ispolzване na vodite v raionite*



- za *baseinovo upravljenje*, Institute of Water problems, BAN, 2000.
- GERGINOV, P. (2021). Geological and tectonic preconditions for hydraulic heterogeneity of the rocks in the area of the Gotse Delchev valley. *Engineering geology and hydrogeology*, no. 35, pp. 51 – 61.
- GERGINOV, P., & BENDEREV, A. (2023). Hydrogeological conditions in the recharge area of the Glava Panega spring. *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol. 84, part 3, pp. 275 – 278.
- HRISTOVA, N., OREHOVA, T., NICHEVA, O., 2020. Ottochna dinamika vav visokoplaninski rečni vodosbori v Pirin planina. *Book of Proceedings*, vol. 2, Second Scientific Conference “Climate, atmosphere and water resources in the face of climate change”, pp. 206 – 213, ISSN: 2683-0558.
- HRISTOVA, N, NICHEVA, O, OREHOVA, T., 2021. Monthly and seasonal long-time variability in Rositsa River catchment area. *Book of proceedings*, vol. 3, “Climate, atmosphere and water resources in the face of climate change”, pp. 30 – 37, ISSN: 2683-0558.
- HRISTOVA, N., OREHOVA, T., NICHEVA, O., 2021. Ustoichivost I predskazuemost na rechnia ottok na reka Demianitca – Bansko, *Godishnik na SU “Sv. Kl. Ohridski”*, pp.161 – 176, ISSN: 0324-0525.
- IVANOV, I., BOURNASKI, E., 2024. Konceptia na Republika Bulgaria za izpolzване vodite na reka Mesta, *Spisanie na BAN*, No.1, pp. 3 – 7, ISSN 0007-3989 (print), ISSN 2683-0302.
- IVANOV, I., BOURNASKI, E., 2024a. *Vodite nd dve sasedni bulgarski reki – Mesta i Dospat*, Sofia, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, ISBN 978-619-245-335-0.
- KOLEV, S., GERGINOV, P., BENDEREV, A., TOTEVA, A., VALCHEV, S., & TRAYANOVA-KOLEVA, M. 2023. Defining of prospective areas for the localization of groundwater in fractured massifs (on the example of the Municipality of Brezovo, Plovdiv Region). *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol. 84, part 3, pp. 283 – 286.
- NICHEVA, O., VATRALOVA, A., SHOPOVA, D., DOBREVA P., 2021. Prirodni i antropogeni faktori za nedostig na voda v gp. Pernik prez 2019 – 2020 g., *Spisanie na BAN*, vol. CXXXIV, no. 1, 2021, pp. 25 – 32, ISSN:0007-3989 (print) ; 2683-0302 (on line).
- NITCHEVA O., DOBREVA P., HRISTOVA N., MILEVA B., TRENKOVA, T., 2021. Using a hydrological model to determine the cause of the water supply

crisis for the town of Pernik in Bulgaria. *Environmental Earth Sciences*, vol. 80, DOI 10.1007/s12665-021-09400-4.

NITCHEVA, O., SHOPOVA, D., VATRALOVA, A., KOUTEV, V., DOBREVA, P. (2023). Study of the hydrological, terrain and anthropogenic factors for the devastating flood at the Southern Black Sea coast of Bulgaria on 4 – 6 September 2023, *Proceedings of 23rd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2023*, vol. 23, no. 3, DOI 10.5593/sgem2023V/3.2/s12.25, ISSN 1314-2704.

OREHOVA, T., GERGINOV, P., 2021a. Analysis of water regime and balance of springs from the Lovech-Tarnovo basin, Bulgaria. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 2021*, pp. 27 – 34, DOI 10.5593/sgem2021/3.1/s12.04.

OREHOVA, T., GERGINOV, P., 2021b. Possible impact of climate change on the discharge of two springs from Central North Bulgaria. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM 2021*, pp. 243 – 250, DOI 10.5593/sgem2021/3.1/s12.32.

OREHOVA, T., TOTEVA, A., GERGINOV, P. (2024). Spatial and temporal variations of groundwater contribution to streamflow in the Mesta River Basin. *Geologica Balcanica*, vol. 53, no. 1, pp. 87 – 103.

### **Water Balance and Water Resources of the Country**

Abstract. Water resources in the present program are considered as a regional and national wealth that must be protected and used productively. A study of the fresh water resources and the water balance of the country was made, showing their temporal irregularity depending on the annual climatic conditions (precipitation, temperatures and evaporation) and climatic changes. The influence of natural and anthropogenic factors and adverse phenomena on the quantitative characteristics of surface and underground waters in characteristic and typical for the country river basins was studied. The analysis shows significant unevenness of the spatio-temporal distribution of water resources, but no lasting trend of water shortage in the country is expected. There is an increasing fluctuation of annual water resources with droughts and floods. Some areas of the Black Sea and East Aegean regions may be vulnerable to water scarcity. It has been found that very little of the available water runoff of the transboundary Mesta River is used on Bulgarian

territory, the remaining predominant part meets the needs of neighbouring Greece without compensation, which requires a rethinking of national interests.

Keywords: river catchment; water runoff; hydrological processes; simulation models

**Prof. Dr. Emil Bournaski**

ORCID iD: 0000-0002-3495-000X

Climate, Atmosphere and Water Research Institute

Bulgarian Academy of Sciences

66, Tzarigradsko Shosse Blvd.

1784 Sofia, Bulgaria

E-mail: eburnazki@cawri.bas.bg

## КАЧЕСТВА НА НАЦИОНАЛНИТЕ ВОДНИ РЕСУРСИ (ПОВЪРХНОСТНИ И ПОДЗЕМНИ)

Доц. Мариан Върбанов,

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – БАН*

проф. Николай Стоянов,

*Минногеоложки университет – София*

проф. Диана Рабаджиева,

*Институт по обща и неорганична химия – БАН*

доц. Апостолос Апостолу,

*Институт за биоразнообразие и екосистемни изследвания*

доц. Таня Василева,

*Геологически институт – БАН*

доц. Зорница Чолакова

*Софийски университет „Св. Кл. Охридски“ – ГГФ*

### **Основни цели и задачи, обекти на изследване**

Водата е не само един от основните компоненти на околната среда, но и сред най-важните фактори за съществуването на живота на Земята. Нейното пространствено положение, форми на съществуване, количествени и качествени характеристики се характеризират с взаимни обвързаности и голяма динамичност във времето и пространството. Затова и нейните качества не могат да се разглеждат като константни и изследванията им трябва да се извършват комплексно, с подходи и методи, заимствани от различни научни направления, отчитайки влиянието не само на променящата се околната среда, но и на все по-активното антропогенно въздействие върху нея. От своя страна, количествата и качествата на водите и техните промени във времето оказват своето въздействие върху живата и неживата материя и са съществен фактор за състоянието на екосистемите и живота и здравето на човека. Всичко това определя формулирането, организирането и структурирането на настоящия работен пакет.

*Основната цел на изследванията е чрез прилагане на иновативни подходи и методи да се установи актуалното състояние на ка-*

**чеството на водите в страната и динамиката на измененията му във времев и в пространствен аспект, отчитайки неговото ключово значение за човека и природата.**

Разнообразието на водните ресурси в страната и поливариантното антропогенно въздействие върху качеството им определят и структурирането на изследването в няколко основни направления:

- анализ и оценка на качеството на повърхностните водни ресурси;
- анализ и оценка на качеството на подземните водни ресурси;
- прилагане в българските условия на международния опит в анализа и оценката на качеството на водите, както и разработване и тестване на иновативни наши изследователски методи;
- определяне и детайлно проучване качеството на водите в повърхностни и подземни пилотни обекти с разностранно антропогенно въздействие.

Съобразно съдържанието на основната цел и поради разнородния и специфичен характер на изследванията от отделните екипи са определени и специфични цели и задачи за направленията. Най-общо за очертаване на актуалната картина на състоянието на качеството на повърхностните и подземните води са набелязани следните задачи.

- Изясняване факторите на околната среда, участващи във формирането и изменението на качеството на водите, като основно внимание се отделя на антропогенната съставляваща.
- Събиране, обобщаване и систематизиране на публикувана и архивна информация за химическия състав и качеството на повърхностните и подземните води за цялата територия на Р България.
- Преглед на световния опит и анализ на действащото законодателство за опазване на повърхностните и подземните води, включително на научно обосновани показатели, индекси, категоризации и класификационни критерии за оценка на замърсяването на водите.
- Характеризиране на формите и начините на антропогенен натиск върху качеството на повърхностните води.
- Изясняването на генезиса, изследването на процесите, количествената оценка и изготвянето на прогнози за замърсяване на подземните води от различни източници – природни и техногенни.

- Проучване на генезиса и характеризиране на киселите руднични води – основен източник за замърсяване на подземните води в рудодобивни и рудопреработвателни райони.
- Разработване на общ методичен подход за математическо моделиране на замърсяването на подземни води от техногенни източници.
- Избор на пилотни речни басейни и подземни водни тела за тестване и верификация на нови методи за анализ и оценка на качеството на повърхностните води у нас.
- Изучаване и изследване на дънните седименти в речните легла като индикатор за замърсяването на водите.
- Очертаване на речни басейни, участъци и повърхностни водни тела в комплексно „лошо“ качествено състояние, установяване на причините за това и набелязване на мерки за подобряване.
- Прилагане на различни традиционни и нови методи за анализ и оценка на качеството на водите у нас.
- Изработване на актуална оценка на качествено състояние на повърхностните и подземните водни ресурси на страната.

Обект на изследване бяха повърхностните и подземните води на територията на страната, като цяло, и в детайли за състоянието на водите в избрани пилотни речни водосбори и области на разпространение на подземни води. Конкретни полеви наблюдения, пробонабирания и измервания на физикохимични показатели се проведеха по р. Дунав, в басейните на реките Струма и Места, р. Арда, поречието на р. Искър, реките Тополница и Луда Яна, западнородопските притоци на р. Марица и др. Теренни изследвания на подземни води се проведеха в басейните на р. Места и Струма, Западните Родопи и Горнотракийската низина, Дунавското крайбрежие, Черноморското крайбрежие, басейна на р. Тунджа и много други. За установяване на актуалното екологично състояние по биологични показатели за качество бяха проведени теренни изследвания и пробонабиране на специфичен биоматериал от почти всички поречия в страната и множество естествени езера и водохранилища. В този работен пакет за целия период на изпълнението на програмата се включиха повече от 70 изследователи, студенти, дипломанти и докторанти с различна професионална експертиза от общо 10 научни и научно-образователни институции (в азбучен ред):

- Геологически институт при Българската академия на науките (ГИ – БАН);
- Геолого-географски факултет при СУ „Св. Климент Охридски“, катедра „Ландшафтна екология и опазване на природната среда“ (СУ – ГГФ);
- Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания при Българската академия на науките (ИБЕИ – БАН);
- Институт по обща и неорганична химия при Българската академия на науките (ИОНХ – БАН);
- Институтът по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкарров“ при Селскостопанската академия (ИПАЗР – ССА);
- Минно-геоложки университет – София (МГУ);
- Национален институт по геофизика, геодезия и география при Българската академия на науките (НИГГГ – БАН);
- Национален център по обществено здраве и анализи (НЦОЗА);
- Факултет химия и фармация при СУ „Св. Климент Охридски“ (СУ – ФХФ);
- Химико-технологичен университет – София (ХТМУ).

Членовете на отделните екипи са представени в *Приложение №X*

### **Изследователски методи**

Прилагани са стандартни методи и техники, които са адаптирани в зависимост от естеството на съответния работен подпакет и на всяка конкретната задача. В структурата на дейностите бе обособен и подпакет, обхващащ търсенето, тестването и прилагането на нови и утвърдени изследователски подходи и методи за решаване на планираните задачи. Това даде възможност не само да се разшири обхватът на изследователската работа, но и да се съпоставят, а и в отделни случаи да се приложат съвместно различни методи и техники. Използвани са набор от физико-химични показатели за качество, определени за характеризиране на повърхностните води в Наредба Н-4 (2012, 2023), Наредбата за стандарти за качество на околната среда от 2010 г., както и някои по-специфични национални нормативни документи.



За оценка на актуалното физикохимично състояние на повърхностните води понастоящем и в зависимост от поставените задачи от страна на изследователите се конструират различни подходи и методи на изследване. Обикновено подходите са два – диференциран, предвиждащ покомпонентен анализ на показатели за качество и оценяване състоянието на водите за всеки поотделно, и комплексен – предвиждащ определяне на качествено състояние на водите да се извършва въз основа на набор от физикохимични показатели и получаването на обобщена оценка под формата на бал, ранг или друг количествен израз.

Отчитайки особеностите на устройството и функционирането на системата за мониторинг на водите у нас, водноохранното законодателство и желанието да се изработи възможно най-пълна картина на качеството на повърхностните води изборът падна основно върху прилагане на утвърдени в международната практика индексни методи за комплексна оценка на качеството на водите. Този тип методи водят началото си от средата на миналия век и днес те са широко използвани не само за научноизследователски цели, но и като част от формулирането и прилагането на политики за управление на водните ресурси в много страни.

Като цяло, индексите за качество на водата се категоризират в четири основни групи. В първата група попадат т.нар. публични индекси, които игнорират вида на водопотреблението в процеса на извършване на оценката и се използват за общото качество на водата. Към втората група се отнасят индексите, конструирани в зависимост от специфичното потребление на водата (питейно, промишлено, опазване на екосистемите и т.н.). В третата група са включени индексите за проектиране или планиране, чиято основна роля е да помагат при вземането на решения и изготвянето на проекти за управление на качеството на водата. В последната група се причисляват статистическите индекси, при които се използват статистически подходи за оценка на данните (Ott 1978; DEQ 2003; Jena, Dixit and Gupta 2013). Според направените от някои автори проучвания днес в световен мащаб се прилагат над 20 индекса за качество на водата (Uddin et al. 2021).

В зависимост конструирането на индексите и възможностите на ползвателите да ги редактират според поставените задачи, те могат най-общо да се обединят в три основни групи.

– **Отворени** – индекси, при които конструирането на оценката се извършва от ползвателя. Той избира набора от физикохимични показатели, определя съответните референтни стойности в зависимост от законодателството, обема на наличната информация и т.н. Самият математически алгоритъм е разработен така, че се получават балови оценки, класифицирани от създателя като клас качествено състояние. От този тип е Water Quality Index – WQI (Канада), който понастоящем е препоръчван от ЮНЕП за широко използване в световен мащаб. От подобен тип са и Индексът на замърсяване на водите с тежки метали (Heavy Metal Pollution Index – HPI), Метален индекс на водите (Metal Index – MI), Претеглен аритметичен индекс на качеството на водите Weighted Arithmetic Water Quality Index Method (WA WQI) и др. (Гърциянова, 2022; UNEP 2007; Neary et al. 2001).

– **Частично отворени** – индекси, при които част от условията се регламентират от създателите на алгоритъма (референтни стойности, набор от физикохимични показатели, изисквания към вида на данните), а останалите се избират от ползвателя по критерии, определени от него. От този тип е например Индексът на замърсяването на водите – ИЗВ (Русия). Създателят на Индекса предлага съответен брой класове на замърсеност на водите.

– **Затворени** – всички условия са предварително зададени от създателя, включително наборът от показатели, референтни стойности, тежест на отделните показатели и др. От този тип е Химичният индекс за качеството на речните води (CJ), разработен от Баварската служба за използване на водите (Германия), както и Индексът на кислородния баланс на водите (КБВ), разработен от страните в Бенелюкс (Белгия, Нидерландия и Люксембург). Съществена част от прилаганите на национално ниво днес в различни страни индекси (САЩ, Малайзия, Франция, Сърбия и др.) са от този тип.

За разкриване на пространствено-времевите особености и тенденции в изменението на качеството на водите в изследванията, проведени от екипа на Националния институт по геофизика, геодезия и география при БАН, основно са използвани Water Quality Index – WQI (Канада), Индексът на замърсяването на водите“ – ИЗВ (Русия), Химичният индекс за качеството на речните води (CJ) и Индексът на кислородния баланс на водите (КБВ), а за оценка на замърсяването на подземните

води – Индексът за качество на подземните води – GWQI, от екипа на Геологическия институт при БАН.

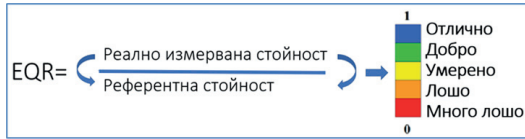
В изясняване на съвременното състояние на качеството на водите на река Места (основен пилотен водосбор) и открояването на факторите и локализациите на заустването на замърсяващите вещества е приложен нов подход за оценка на качеството на речните води, базиран на индекс за качеството на водите (WQI) и многовариационната статистика 2-самоорганизиращи се карти на Кохонен (SOM). По този начин комбинацията между интегралния WQI и многомерната техника за разпознаване на образци – SOM, направи възможно постигането на прецизна оценка на качеството на водата в посочените басейни.

Разработена е и методология за оценка на качеството на водите чрез изследване на промените във физикохимичното състояние на повърхностните води и идентифициране на източниците на значимо антропогенно въздействие. Основава се на използването на Water Quality Index – WQI (Канада); анализ на времеви редове (тест на Mann-Kendall) на изчислените индекси; анализ на главните компоненти (АГК), използвайки изчислените при определяне на WQI отклонения на изследваните параметри от заложените в националното законодателство норми за качество на водите. Комбинацията от гореспоменатите методи и техники не просто запазва ползите от самостоятелното им прилагане, но в допълнение предоставя информация за скритите фактори, които оказват влияние върху качеството на водите в зависимост от вида на повърхностното водно тяло. Последното е от особена важност при управлението на водните ресурси.

Избраната методология и проведените изследвания са осъществени от съвместен екип, съставен от представители от Факултета по химия и фармация на Софийския университет и от Националния институт по геофизика, геодезия и география при БАН, както и привлечени изследователи от други научно-образователни институции.

По-специфичния характер на изследването и оценяването на екологичното състояние на водните обекти обособи отделен набор от подходи и методи. Рамковата директива за водите на Европейския съюз (ЕС) 2000/60/ЕО (РДВ) определя рамката за управлението на водите и изисква държавите членки на ЕС да постигнат добро екологично състояние във всички водни тела. Според определената от РДВ скала за оценка на

състоянието водните обекти се класифицират в един от петте класа на качество (висок, добър, умерен, лош или много лош) чрез коефициента на екологично качество (EQR), който оценява състоянието на всеки воден обект в стойности от 0 (най-лош статус) до 1 (референтен статус) (фиг. 1).



**Фигура 1.** Обобщена илюстриращ пътя за оценка на екологичното състояние на повърхностните води

РДВ изисква също съпоставимост на скалите за оценка между различните държави от ЕС, за да има общо разбиране по отношение на начина за определяне на екологично състояние на повърхностните води. Това позволява сравнимост на резултатите, получени от различни национални системи за мониторинг, оценка и класификация. Определянето на екологичното състояние на реките и езерата се оценява от четири основни групи параметри:

1. биологични елементи за качество (БЕК) – фитопланктон, фитобентос, макрофити, макробезгръбначни и риби;
2. физични и химични параметри – общо у нас се следят около 80 физикохимични показателя, част от които се използват за обобщена оценка;
3. хидроморфологични параметри – вид субстрат на речното легло, водно количество, ерозия, скорост на течение и др.;
4. антропогенен натиск – замърсяване, изменение на водния отток, деструкция на местообитания, фрагментиране на биокоридори и др.

Референтното екологично състояние се определя от съобщества, в които доминират характерни (главно чувствителни) видове и които се срещат в неповлияни от човешки дейности местообитания. Конкретното екологично състояние на даден воден обект се определя чрез сравнението му с референтното състояние с помощта на петобалната скала за оценка. Основната роля в изясняването на екологичното състояние на повърхностните водни обекти изпълни екипът на Инсти-

тута за биоразнообразие и екологични изследвания към БАН. В началото на проекта наличните методи за оценка на екологичното състояние на повърхностните водни тела не покриха изцяло разнообразието на условията, характерни за страната. Те обхващат широка гама (от високопланински буйни потоци до пресъхващи дерета и р. Дунав, от високопланински езера до равнинни блата и крайморски лагуни), съответно изискващи специален и често пъти индивидуален подход. Успоредно с утвърдените и официално нормирани методи за оценка са разработени и нови методи за определяне качеството на водните ресурси. Освен рутинните са проведени и пилотни полеви изследвания. Анализът на новопостъпилите данни, включително и с прилагането на метода на проба – грешка определи най-подходящите параметри, които да характеризират специфичните съобщества, да показват изменение на параметрите им вследствие антропогенния натиск и същевременно да удовлетворяват изискванията на Рамковата директива за водите.

Специфичен метод за установяване актуалното състояние на повърхностните води, и особено на стоящите водоеми бе приложен от колектива на Националния център за обществено здраве и анализи. Обект на изследване са водите на различни по тип стоящи водоеми (езера и водохранилища) чрез показатели за качеството на водите по отношение на токсини, продуцирани от токсични цианобактериални видове, в за периода 2017 – 2022 г. Същевременно в хода на изпълнение на програмата е валидиран и въведен в действие течнокроматографски метод за определяне на микоцистин-LR съгласно Директива (ЕС) 2020/2184 на Европейския парламент и на Съвета на Европа относно качеството на водата, предназначена за консумация от човека.

Освен десетките теренни изследвания и лабораторни анализи екипът на Института по обща и неорганична химия към БАН приложи и изследователски методи на термодинамично моделиране, където за разпределението на химични форми на металите, микрокомпоненти в изследваните природни води са приложени:

– класически модел на йонна асоциация при разтвори с ниска йонна сила ( $I < 0.1$ );

– комбиниран модел на йонна асоциация и на йонно взаимодействие, при разтвори с висока йонна сила ( $I > 0.1$ ), моделът е разработен от екипа на ИОНХ – БАН;

– Stockholm Humic Model (SHM) за отчитане органичните химични форми.

За моделиране на води с ниска йонна сила ( $I < 0.1$ ) е използвана компютърна програма Visual Minteq, v.3.1. При висока йонна сила ( $I > 0.1$ ) на разтворите са използвани компютърна програма Visual Minteq, v. 3.1 за изчисляване на металоорганичните комплекси и PHREEQC1, v. 2.14.3 за отчитане йонните взаимодействия между главните и главни и микрокомпоненти по методите на йонно взаимодействие и йонна асоциация.

В хода на разнородните си изследвания екипът на Химикотехнологичния и мететалургичен университет (ХТМУ) предложи метод за определяне концентрациите на As(III) и As(V) в проби от отпадъчни води. Подходът се основава на екстракцията на As(III) от водни проби с помощта на неполярен органичен разтворител в среда на 10 – 12 M HCl. Екстрактът съдържа As(III), докато рафинатът съдържа As(V). За повторно извличане на As(III) от органичния разтворител може да бъде използвана дестилирана вода. За анализ на концентрациите на As в реекстракта и рафината е използван ICP-MS. Средното извличане на арсена по предложения метод е 99,6 % и е определено като сумата от концентрациите на As(III) и As(V). Събраните данни показват висока повторяемост. Стандартната процедура на добавяне (сумиране) демонстрира селективността и точността на използвания метод. Относителната грешка при стандартната добавка As(III) е около 2 %, което е подобно на RSD, установено при условия на повторяемост. Подходът за течно-течна екстракция на форми на арсен по време на подготовка на пробата и последващо откриване с помощта на ICP-MS би могъл да предложи алтернатива на съществуващите методи за идентифициране на опасната форма на този компонент в проби от отпадъчни води. Подходът е тестван върху проби от отпадъчни води. Разработеният подход демонстрира добра селективност, чувствителност, прецизност и точност и може да се използва успешно за определяне формите на арсен в отпадъчни води в диапазон на концентрация: 0,3 до 100  $\mu\text{g/L}$ .

От същия екип също така е изследвана възможността за създаване на виртуален сензор за измерване на концентрацията на медни йони – Cu(II), във водни среди. Създаването на виртуален сензор се основава на възможността за използване на евтини и надеждни сензори за лесно измерими променливи, които са математически свързани с целевата

променлива. Стойностите на параметрите, характеризиращи качеството на водите, са установени в резултат на изследвания от пробовземания за дълъг период от едни и същи участъци на повърхностни води. На базата на корелационен анализ са избрани две входни променливи за виртуален сензор – рН и електропроводимост. На определен етап от изследването е добавена като входна променлива и температура, но бе установено, че това не довежда до значително повишаване точността на виртуалния сензор. За създаване на математически модели за целите на разработения виртуален сензор са обучени голям брой изкуствени невронни мрежи и са изведени регресионни модели. Изведените математически модели описват и предсказват провежданите измервания с най-висока точност.

Важно място в комплекса от изследователски методи при изпълнението на работната програма заемат проучванията на дънните седименти и води в поречието на р. Арда. Те са провеждани от екип на катедра „Ландшафтна екология и опазване на природната среда“ на Геолого-географския факултет на Софийския университет.

Дънните седименти представляват естествена среда на акумулиране и на потенциално токсичните химични елементи, част от тях са и тежки метали. Различната миграционна способност на последните, която зависи от физикохимичните свойства на водата, води до значителни различия в степента им на натрупване в дънните седименти в даден участък от речното течение. За получаването на окончателните резултати и оценяване на пространствено-времевите изменения на качествено състояние на избраните показатели са използвани различни математико-статистически методи и обобщения.

За изследването на качествата на подземните води са използвани широк спектър от традиционни и нови методи за установяване на съвременното им състояние. В това направление основно работиха екипите на Минно-геоложкия университет и на Геологически институт при БАН. Освен традиционните полеви и камерални методи от екипа на МГУ бяха приложени:

– математически методи за числено моделиране на филтрационни и миграционни процеси в ненаситена и водонаситена среда с прилагане на специализиран хидрогеоложки софтуер (VS2DTI, Modflow, ModPath, MT3D-MS и др.); с тях са разработени поредица от двумерни (2D) и/



или тримерни (3D) модели на процесите на замърсяване на подземните води от различни естествени и техногенни източници – пилотни обекти Маджарово, Хасково, Марица-изток, Брестовица, Елешница, КЦМ – Пловдив, и Брезник;

– **геофизични електросъпротивителни методи** за неинвазивно проучване на подповърхностното пространство – вертикално електрично сондиране (ВЕС) и електротомография; методът ВЕС е апробиран при изследванията на естествената интрузия на морски води в крайбрежни водоносни хоризонти (пилотен обект Алепу). Електротомографският метод е ползван като основно средство за детерминиране пространствените граници на хидрогеоложките единици от различен ранг при разработване на тримерен модел на замърсяването в резултат на добива на уран в басейна на р. Места (пилотен обект Елешница).

– **хидрохимични методи** за полево определяне на физичните и физикохимичните характеристики на водата, пробовземане и консервиране на водни проби, лабораторни анализи за количествено определяне на състава на водите и др.; използвани са в района на пилотни обекти Маджарово, Брестовица и Елешница; хидрохимичните методи са прилагани в района на пилотни обекти Маджарово, Брестовица и Елешница;

– **статистически методи (корелационни анализи)** – използвани са при обработката на масиви данни за състава на водите, като въз основа на установени корелационни зависимости са дефинирани хидрохимични индикатори за експресна оценка на степента на замърсяване на водите в уранодобивни райони (по примера на пилотен обект Елешница).

Сред изследователските методи, прилагани от екипа на Геологическия институт при БАН, следва да откром прилагането за първи път у нас на Индекса на качеството на подземните води (Groundwater Quality Index) (Vasileva 2023). Съществен принос в изследването на водите от същия екип е пространственият анализ на качеството на подземните води в ГИС среда. Съставени/изготвени са специализирани 2D модели по сезони за всяка отделна година от изследвания период 2015 – 2019, показващи пространственото разпределение на концентрациите по показатели, характеризиращи качествено състояние на подземните води от хипергенната зона на страната.

## Дейности по програмата

В изпълнение на поставените задачи бяха структурирани и етапизирани във времето следните основни дейности.

– Събиране, систематизация и класификация на наличните информационни източници за качеството на повърхностните и подземните води на територията на страната, включващи научни публикации, нормативни документи, планове, стратегии и програми на национално равнище. Особено място зае анализът на документацията, отнасяща се до изготвянето на действащите към настоящия момент Планове за управление на речните басейни в България (ПУРБ), трети цикъл (2016 – 2021 г.) за четирите басейнови района, както и материалите по подготвяните ПУРБ, четвърти цикъл (2022 – 2027 г.).

– Извличане на оперативна информация от Националната система за мониторинг на околната среда в България за периода 2011 – 2023 г. за качеството на повърхностните и подземните води по избрани за целите и задачите на изследванията показатели.

– Изработване на информационни масиви от оперативна информация от Националната система за мониторинг околната среда в частта за повърхностните и подземните води за нуждите на работната програма с периода на наблюдение от 2011 до 2023 г.

– Систематизиране и класифициране на информацията, получена от собствени теренни наблюдения и лабораторни анализи за различни показатели за качество на водите.

– Определяне на набор от физикохимични и биологични показатели за анализ и оценка на качеството на водите.

– Определяне на пилотни речни басейни и райони на разполагане на подземни водоносни системи за извършване на детайлни теренни изследвания, пробонабиране и лабораторни анализи за определяне на източниците, формите и мащабите на антропогенното въздействие върху качеството на водите.

– Преглед, изучаване и прилагане в българските условия на иновативния чуждестранен опит в анализа и оценката на качеството на водите (диференцирано по отделни показатели и комплексно).

– Създаване, тестване и прилагане на собствени иновативни методи за изследване и оценка на широк спектър от вещества, причиняващи

замърсяване и/или влошаване на качеството на водите.

– Сътрудничество, съвместни изследвания и представяне на резултатите с екипи от останалите работни пакети по програмата.

– Систематизиране и обобщаване на получените резултати, публикуване и представянето им на различни научни форуми и заинтересовани общности. Обучение на студенти, дипломанти и докторанти и включването им в научно-изследователските и приложни дейности по работната програма.

На началния етап от изпълнението на работната програма от екипите на НИГГГ – БАН, и ГИ – БАН, е извършен подробен и разностранен анализ за съществуващата информация за качеството на водите под формата на научни публикации, нормативни документи, годишни доклади на РИОСВ, планове за управление на речните басейни, разработени от басейновите дирекции за третия цикъл (206 – 2021), а впоследствие и проектите на ПУБР за четвъртия цикъл (2022 – 2027), годишните доклади на ИАОС за състоянието на водите у нас и редица други документи. Тази всеобхватна работа даде възможност да се изгради относително подробна представа за пространствено-временните особености в качеството на водите и да се определят основните източници и форми на антропогенно въздействие върху повърхностните и подземните води. Наред с това бе извършен сравнителен анализ на чуждестранните нормативни документи в областта на качеството на водите извън ЕС, като по този начин бе подпомогнат изборът на ключови показатели за качество на водите и на референтните стойности, използвани при оценката на водите. В редица случаи се оказва, че националната нормативна уредба е значително по-строга в определянето на граничните стойности.

Въз основа на извършения анализ от посочените екипи бяха съставени информационни масиви от данни за избрани физикохимични показатели за качество, съобразени с целите и задачите на изследването, включващи общи физикохимични показатели, биогенни и органични показатели, специфични и приоритетни вещества за периода 2011 – 2023 г. Тези информационни масиви бяха структурирани съобразно методите за анализ и оценка (табл. 1).

**Таблица 1.** Фрагмент от информационен масив за оценка на качеството на повърхностните води посредством CCME WQI

Station Name	Sample Date	Index Period	DO	PH	EC	NH4	NO3AT	NO2I	Total N	PO4	Total P	BPK5
р. Владайска при Кубратово	15-2-2016	2016	6,8	7,73	382	4,98	0,55	0,056	6,7	0,58	0,85	14
р. Владайска при Кубратово	21-4-2016	2016	-999	7,69	384	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
р. Владайска при Кубратово	17-5-2016	2016	7,2	7,63	372	3,8	0,84	0,051	5,7	0,43	0,55	4,8
р. Владайска при Кубратово	13-6-2016	2016	-999	7,51	478	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
р. Владайска при Кубратово	26-7-2016	2016	3,3	7,66	479	7,8	0,199	0,059	10	0,97	2,13	6,6
р. Владайска при Кубратово	17-8-2016	2016	-999	7,54	527	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
р. Владайска при Кубратово	16-9-2016	2016	-999	7,57	428	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
р. Владайска при Кубратово	06-10-2016	2016	3	7,53	460	8,5	0,38	0,069	9	0,93	3,49	11

Подобни масиви бяха организирани и за изчисляването на останали-те индекси, както и за извършване на покомпонентен анализ на избраните физикохимични показатели за качество. Същевременно, в резултат на извършените множество полеви измервания, лабораторни анализи на водни проби и дънни седименти, бяха създадени и информационни масиви от собствен мониторинг от екипите на НИГГГ – БАН, ГИ – БАН, МГУ, ИОНХ – БАН, НЦОЗА.

Проведени са над 80 командировки с близо 1000 човекодни, в които участие са взели почти всички изследователи от екипите, в това число студенти и дипломанти от МГУ, докторанти от ИБЕИ – БАН, ГИ – БАН, НЦОЗА, ИОНХ – БАН и др. Извършени са повече от 300 пробовземания за различни физикохимични показатели, като са извършени над хиляда химични анализа както в лабораторните комплекси на някои от институциите участници, така и във външни сертифицирани лаборатории. Посетени са повече от 20 речни басейни и райони на разполагане на подземни води

Отделно са събрани хиляди образци от организми, послужили за определяне на екологичното състояние на водите по биологични показатели за качество. За целта е извършено пробонабиране на всички пет биологични елемента за качество в различни точки на страната (фиг. 2) и е оценено екологичното състояние на тези водни обекти. Резултатите са унифицирани и нанесени в електронни регистри по такъв начин, че данните да са лесно достъпни и сравними в бъдеще. Систематизираната информацията е също интегрирана и визуализирана в ГИС.



**Фигура 2.** Пунктове за пробонабиране на риби в четирите основни водосбора с цел определяне на екологичното състояние по утвърдени и новоразработени методи

Обобщена, но в същото време достатъчно информативна представа за огромния обем извършената дейност е изложена в таблица 2, дело на екипа от Геологическия институт при БАН по подпакет 1.3.2. „Качество на подземните води“.

**Таблица 2.** Вид и обем на извършената работа от Геологическия институт на БАН по подпакет 1.3.2. „Качество на подземните води“

№	Вид дейност	Мярка	Обем
1	Преглед и обработване на таблична информация, предоставена от ИАОСВ	бр.	20
2	Организация на химичните анализи по отделни показатели на нива:		
	• мм.01 – 03	бр.	20
	• мм.04 – 06	бр.	20
	• мм.07 – 09	бр.	20
	• мм.10 – 12	бр.	20
	• мм.01 – 12	бр.	20
3	Теренно обследване в басейна на р. Места		
	• издирване на нови точки	бр.	86
	• хидрогеолошко обследване на нови точки	бр.	86

	• хидрогеоложко обследване точките на картни листове	бр.	.....
	• геодезично заснемане на извори	бр.	86
4	Хидрохимично опробване и анализ на водни проби		
	• дебит	бр.	66
	• полево измерване на температура	бр.	86
	• полево измерване на рН	бр.	86
	• пробовземане	бр.	74
5	Теренни измервания		
	• определяне коеф. на филтрация	бр.	5
	• измерване на водни нива	бр.	3
6	Попълване на данните в Excel формат	бр.	...
7	Предварителни модели:		
	• съставяне на сезонни растерни модели	бр.	320
	• съставяне на годишни растерни модели	бр.	80
8	Статистически мерки за оценка на модели	бр.	320
	• осем оценки	бр.	2560
9	Работни модели:		
	• съставяне на растерни средносезонни модели за 2015 – 2019	бр.	>164
	• съставяне на растерни средногодишни модели за 2015 – 2019	бр.	>54
10	Финални модели:		
	• съставяне на средносезонни грид модели за 2015 – 2019	бр.	>92
	• съставяне на средногодишни грид модели за 2015 – 2019	бр.	>41
11	Съставяне на графики	бр.	>50
12	Изготвяне на подетапни и етапни отчети		
	• подетапен	бр.	5
	• етапен	бр.	5

Извършената работа от Екип МГУ в рамките на работния пакет е пряко свързана с изпълнението на предварително планираните цели и задачи. Последователно през годините са изпълнени следните основни дейности, които могат да бъдат групирани в три раздела.

#### – **Формиране и качество на подземните води в страната**

✓ Направен кратък преглед на теоретичните въпроси относно механизма на замърсяване на водите в райони с миннодобивна дейност; химичните и биологичните процеси при генериране на кисели руднични води; основните микробни ценози, окисляващи сулфидните минерали, феройоните и сярата, както и факторите, влияещи върху състава на рудничните води. Събрани са всички налични данни за състоянието на повърхностните води в района на Маджаровското рудно поле. Проведе-

ни са допълнителни полеви изследвания в района на старите рудници и прилежащите им територии.

✓ Издирени, обобщени и систематизирани са наличните научни публикации и архивни данни за химическия състав на подземните води в Р България (за периода до въвеждането на басейново управление на водите). Проучването засяга всички типове подземни води (пресни и минерални) независимо от дълбочината на залягане, характеристиките на колектора и др.

#### **– Методи за определяне качеството на водните ресурси**

✓ Направен е подробен преглед на европейското и българското законодателство, касаещо опазването на подземните води, и анализ на световния научен опит с цел по-добра аргументация при избора на индикатори за оценка качествата на водите в райони за добив и преработване на полезни изкопаеми. На тази база са дадени методически указания за прилагането на различни показатели и критерии за оценка на замърсяването на подземни води от минни обекти.

✓ Събрана е наличната информация за замърсяването на повърхностните и подземните води от извършваните в миналото рудодобив и преработка на суровини от ураново находище „Елешница“ – един от потенциалните източници на радиоактивно замърсяване в басейна на р. Места. Проведени са полеви и лабораторни изследвания за изясняване съвременното състояние на водите в най-застрашените участъци – терасите на р. Вълче дере и р. Места. Въз основа на резултатите от провеждания няколко десетилетия мониторинг и установените нови данни са детерминирани хидрохимични индикатори за експресна оценка на замърсяването в уранодобивни райони.

#### **– Пилотни изследвания в избран водосборен басейн и за обекти с различни естествени и антропогенни условия за формиране качеството на водите**

✓ След предварителен анализ на различни видове източници на замърсяване (емитери), на произхода и разнообразието на възможните замърсители, потенциалната среда за тяхното разпространение и евентуалните приемници (реципиенти) и при отчитане значимостта и социалния отзвук на проблемите, свързани с промени в състава и качествата на подземните води, е направен подбор на пилотни обекти с



различни естествени и антропогенни условия. Водещо изискване при избора все пак е включването на по-широк спектър от емитери. Така въз основа на направения анализ са подбрани 8 пилотни обекта, т.нар. горещи точки с различен генезис, вид и механизъм на замърсяване на подземните води:

– пилотен обект Алену – естествена интрузия на морски води в кватернерния водоносен хоризонт, защитена влажна зона в комплекс Ропотамо;

– пилотен обект Брестовица – замърсяване на подземните води с манган от природни и/или техногенни източници в долното течение на р. Въча;

– пилотен обект Маджарово – замърсяване на подземните води във водосбора на р. Арда от закритите мини в района на Маджаровското рудно поле;

– пилотен обект Елешница – замърсяване на подземните води в терасата на р. Места от хвостохранилището на закрития уранодобивен комплекс;

– пилотен обект Хасково – замърсяване на подземните води от регионалното депо за твърди битови отпадъци;

– пилотен обект Марица – изток – замърсяване на подземните води от депата за твърд отпадък от тецовете на енергийния възледобивен комплекс;

– пилотен обект КЦМ – Пловдив – замърсяване на подземните води със сулфати и тежки метали от рудопреработвателни предприятия;

– пилотен обект Брезник – потенциален риск за замърсяване на подземните води от карieri за инертни материали.

✓ Направени са подробен анализ и систематизация на наличната информация за физикогеографските, геолого-тектонските, хидрогеоложките, хидрохимичните, техногенните и екологичните условия в района на всеки пилотен обект.

✓ Проведени са ограничен обем от полеви и лабораторни хидрохимични изследвания за набиране на нови и допълващи данни за пилотни обекти Маджарово, Елешница и Брестовица. В рамките на тези изследвания бяха изпълнени следните дейности.

– Полево определяне на интегралните характеристики на водата (температура, рН, Eh, електропроводимост, твърдост, индекс на насищане спрямо калцит, алкалност и киселинност) и съдържанието на разтворени газове (O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>), както и експресни анализи на място за наличие на Mn, Fe и Cu. Използвани са съответните съвременни уреди за полеви измервания.

– Пробовземане и консервиране на водни проби за анализ на тежки метали (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Ni, Mn), As, U и NH<sub>4</sub>. Пробовземане за анализ на макрокомпоненти – SO<sub>4</sub>, Cl, HCO<sub>3</sub>, ХПК, и микробиологични анализи.

– Лабораторни изследвания за определяне концентрациите на Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Ni, Mn, As, U, NH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, HCO<sub>3</sub>, ХПК и количеството манган-редуциращи бактерии чрез микробиологични анализи. Използвани методи – ICP-OES, спектрофотометрия, турбидиметрия, класически методи.

✓ В района на пилотен обект Алепу са проведени геоелектрични проучвания по метода ВЕС. Посредством ключови критерии полученият въз основа на тези проучвания геоелектричен модел е трансформиран в хидрогеоложки модел на естествената интрузия на морски води в крайбрежния водоносен хоризонт в района на влажна зона Алепу от комплекс Ропотамо.

✓ За допълнително характеризиране на условията за замърсяване на подземните води в басейна на р. Места от хвостохранилище Елешница е проведено електротомографско проучване. По данни от това проучване са определени пространствените граници на хидрогеоложките единици в района на хвостохранилище Елешница при вливането на р. Вълче дере в р. Места.

✓ Съставени са концептуални модели на специфичните за всеки пилотен обект природни и техногенни условия за разпространение на генерираните от съответния източник замърсители. Изготвените концепции са изцяло базирани на данни от предварително проучване на голям брой информационни източници – научни публикации, производствени доклади, технически проекти, сборници и отчети с мониторингови данни и други архивни материали, допълнени с резултатите от проведените в рамките на работния пакет ограничени по обем собствени изследвания.

✓ Разработени са двумерни и/или тримерни математически числени модели на замърсяването на подземните и повърхностните води в района на пилотни обекти Маджарово, Елешница, Хасково, Марица – изток, КЦМ – Пловдив, и Брезник. Моделите представляват компютърни симулации на поведението на различни конвенционални замърсители (Cl, SO<sub>4</sub> и NH<sub>4</sub>), тежки метали (Zn, Pb, Ni и Cd) и радиоактивни замърсители (238U и 226Ra). С тях са направени средносрочни и дългосрочни прогнози за размерите и степента на замърсяването в района на изследваните пилотни обекти. Посредством разработените математически модели са изследвани закономерностите в динамиката и интензивността на миграционните процеси, оценени са защитните способности на геоложката среда и потенциалният екологичен риск от действието на различните източници – стари мини за добив на полиметални руди (пилотен обект Маджарово); хвостохранилище към закрит уранодобивен комплекс (пилотен обект Елешница); депо за твърди битови отпадъци (пилотен обект Хасково); депо за твърд отпадък и пепелина от ТЕЦ (пилотен обект Марица – изток), рудопреработвателно предприятие (пилотен обект КЦМ – Пловдив) и кариера за инертни материали (пилотен обект Брезник).

✓ Проведено е задълбочено проучване на причините за рязкото повишаване на съдържанието на манган в кладенците за добив на подземни води от терасата на р. Въча (пилотен обект Брестовица). Въз основа на събраните архивни данни, допълнени с резултатите от проведените специализирани хидрохимични и микробиологични изследвания, е приета обоснована хипотеза за възможния генезис и бъдещото развитие на това замърсяване. Направените изводи са доразвити посредством тримерен числен модел на миграцията на мангана при отчитане на хидравличните връзки между различните части на водоносния хоризонт, привличането на води от формираното заблатено езеро в старото русло на р. Въча и действието на вододобивните кладенци.

### **Получени приложни резултати**

Предвид характера на планираните и осъществени дейности, както и на заложените цели и задачи получените резултати в този работен пакет имат преимуществено научно-практически и приложен характер.

Разнородните изследвания, огромният обем извършена работа и множеството участници затрудняват представянето на всички резултати. Затова са избрани само някои от тях, а по-подробна информация може да се получи от публикуваните научни статии и доклади, посочени след настоящата глава, както и в края на книгата.

Най-общо те могат да се групират в няколко предметни и тематични области.

– Проучване, анализ и оценка на пространствено-времеви трансформации в физикохимичното състояние на повърхностните и подземните води в страната и установяване на характера, вида и особеностите на антропогенното въздействие върху тях.

– Разработване и прилагане на нови, както и на утвърдени вече подходи и методи на изследване и оценка на качеството на водите.

– Обучение на студенти, дипломанти и докторанти и повишаване квалификацията на млади учени в процеса на изпълнение на работната програма.

Съвместното прилагане на покомпонентния анализ и комплексните индексни оценки показва една пъстра картина за актуалното физикохимично състояние на повърхностните води. Най-обща се очертаха три типа антропогенно въздействие върху водите, което се отрази и в получените оценки за отделните басейни. Изследванията са извършени от екипа на НИГГГ – БАН, и на ФХФ – СУ.

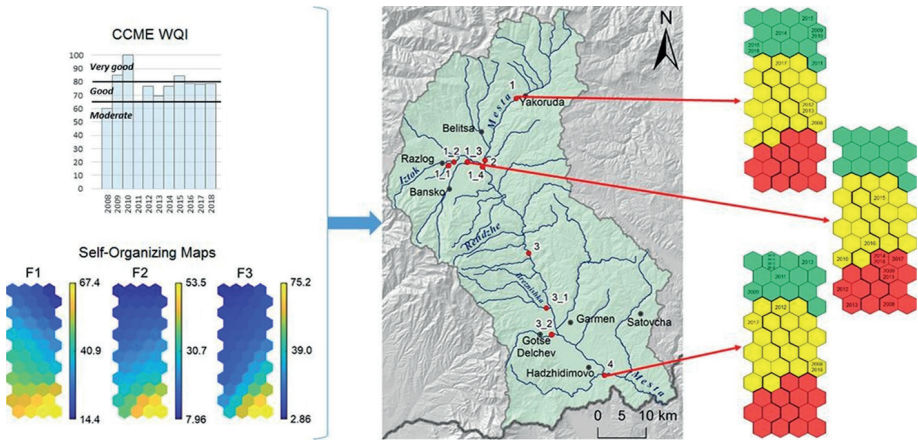
Първият тип антропогенно въздействие е индустриалното, включващо влиянието на бивши и действащи рудодобивни обекти и дейности, промишлени предприятия заустващи значителни обеми индустриални отпадъчни води и др. Подложени на този тип въздействие са реки като Чепеларска, Арда, Тополница, Луда Яна, Малък Искър, средното течение на р. Струма, горното течение на р. Места, Провадийска река и река Девня, горното течение на река Огоста и др.

Вторият тип въздействие може да се определи като смесено. При него се преплитат въздействията от индустриалното замърсяване и заустването на отпадъчни води от селското стопанство, предимно от животновъдството. Такива за повечето малки реки в Дунавската равнина, Горнотракийската низина, Среднотунджанското поречие и др. При тях индексите, включващи показатели, реагиращи този тип въздействие, са

значително по-чувствителни от тези с включени тежки метали.

Третият тип въздействие може да се определи като битово, при който обикновено доминира въздействието от заустването на отпадъчни води от комуналния сектор. Такъв тип се наблюдава преди всичко след големи населени места и/или в участъци на струпване на населени места без изградена канализационна мрежа или с налична, но директно заустваща се в реките. Подобни участъци се установиха в поречието на реките Места и Струма, някои от черноморските реки, притоците на р. Искър в Софийското поле, в горното течение на Чепеларска река, р. Янтра и др.

Много добри резултати даде и съвместното използване на индекси и елементи на математическата статистика. За два от пилотните басейни (р. Струма и р. Места) бяха проведени такива изследвания, които показва ползата от тях. Примерът е даден за р. Места. Приложен е нов подход за оценка на качеството на речните води, базиран на индекс за качеството на водите (CCME WQI) и многовариационната статистика – самоорганизиращи се карти на Кохонен (SOM). Посредством получените частни и обобщени параметри на индекса и чрез оценяването им със SOM са изведени еднотипни участъци от конкретен речен басейн със специфични „профили“, отразяващи вида и степента на изменение на качеството на водите. Визуализационните предимства на алгоритъма SOM позволиха да се установят пространствените и времевите трансформации в качеството на водата и сходството между мониторинговите пунктове в рамките на речния водосбор. По този начин комбинацията между интегралния CCME WQI и многомерната техника за разпознаване на образци – SOM, направи възможно постигането на прецизна оценка на качеството на водата в басейна на р. Места. Методологията е съобразена с изискванията на българското законодателство, поради което може да бъде използвана за нуждите на управлението на качеството на водите. Може да се прилага от басейновите дирекции за оперативна и аналитична оценка на състоянието на повърхностните води по басейни, речни участъци, различни времеви интервали, както и за аналитични доклади за трансформациите в качеството на водите. Изследванията са направени от съвместен екип от учени от НИГГТ – БАН, и ФХФ на СУ (фиг. 3).



**Фигура 3.** Оценка на качествено състояние на водите на р. Места чрез съвместно използване на индексни оценки и методи на математическата статистика

Интересни резултати се получиха и от изследванията на екипа на ИОНХ – БАН, посветени на битовото и индустриалното замърсяване на повърхностните води.

Битово замърсени повърхностни води

В рамките на работната програма е изследвано и сравнено екологичното състояние на 4 големи реки и някои техни по-големи притоци, протичащи през различни по големина български градове. Установено е, че всички изследвани води имат високи нива на замърсяване по отношение на  $PO_4^{3-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Pb^{2+}$  над пределно допустимите (ПДК) съгласно Наредба 4/2012. Високи стойности на  $NO_2^-$  йони са измерени и във водите на реките Струма и Искър, което е резултат от замърсяване от битови и земеделски източници. Интегралните прагови индекси на замърсяване на река Струма са най-високи, което може да се дължи както на нейния естествен произход, така и на предишното неустойчиво управление на въгледобивните минни и металургични дейности в региона. Река Искър е втората по замърсеност поради увеличеното население на града. Замърсяването в река Марица при Пловдив и на Дунав при Силистра е сходно, но по-ниско от тези в реките Струма и Искър. То е резултат от селскостопанско и битово замърсяване. За река Дунав, една от големите речни системи в Европа, причините са комплексни и

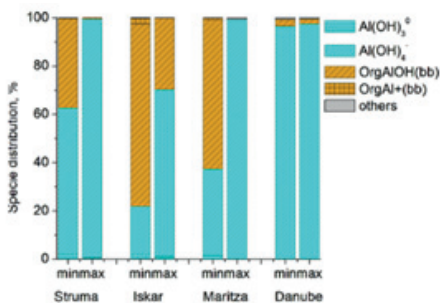
не могат да бъдат ограничени само до България.

Термодинамичните изчисления на химичните форми на изследваните метали (фиг. 4а-е), показват, че Al съществува под формата на  $Al(OH)_3^0$  (най-високи стойности имат в река Дунав) и органични  $OrgAlOH$  комплекси (най-високи стойности имат в река Искър). Свободни  $Mn^{2+}$  йони преобладават във всички реки, като в Струма те са с най-голяма концентрация. Свободни  $Zn^{2+}$  йони също са изчислени, но само на няколко места по поречието на Струма и Марица. При Zn, Cu и Pb доминират органометални форми.

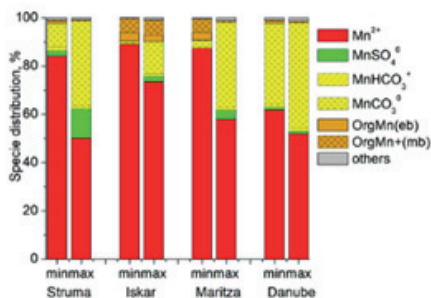
### Индустриално замърсени повърхностни води

Установено е, че водите на река Арда край Рудозем са най-замърсени с Al, Mn, Zn, Pb, с концентрации над ПДК, съгласно Наредба 4/2012 и Директива 2013/39/ЕС на Европейския парламент. Водите на река Юговска близо до град Лъки са с най-кисела реакция, по-слабо аерирани и с най-висока проводимост, но само Al и Zn превишават ПДК, като това на Zn е най-високо (14,7 пъти ПДК). Отводнителните канали в индустриално-търговската зона са замърсени с Al и Pb.

Термодинамичните изчисления показаха аналогични доминиращи форми на съществуване за Al, Mn Cu и Pb както в битово замърсените води, но значителни разлики във формите на Zn (фиг. 4ж). Различните условия определят доминиране на цинкови свободни йони и хидроксидни комплекси и много по-ниски концентрации на органометални комплекси.

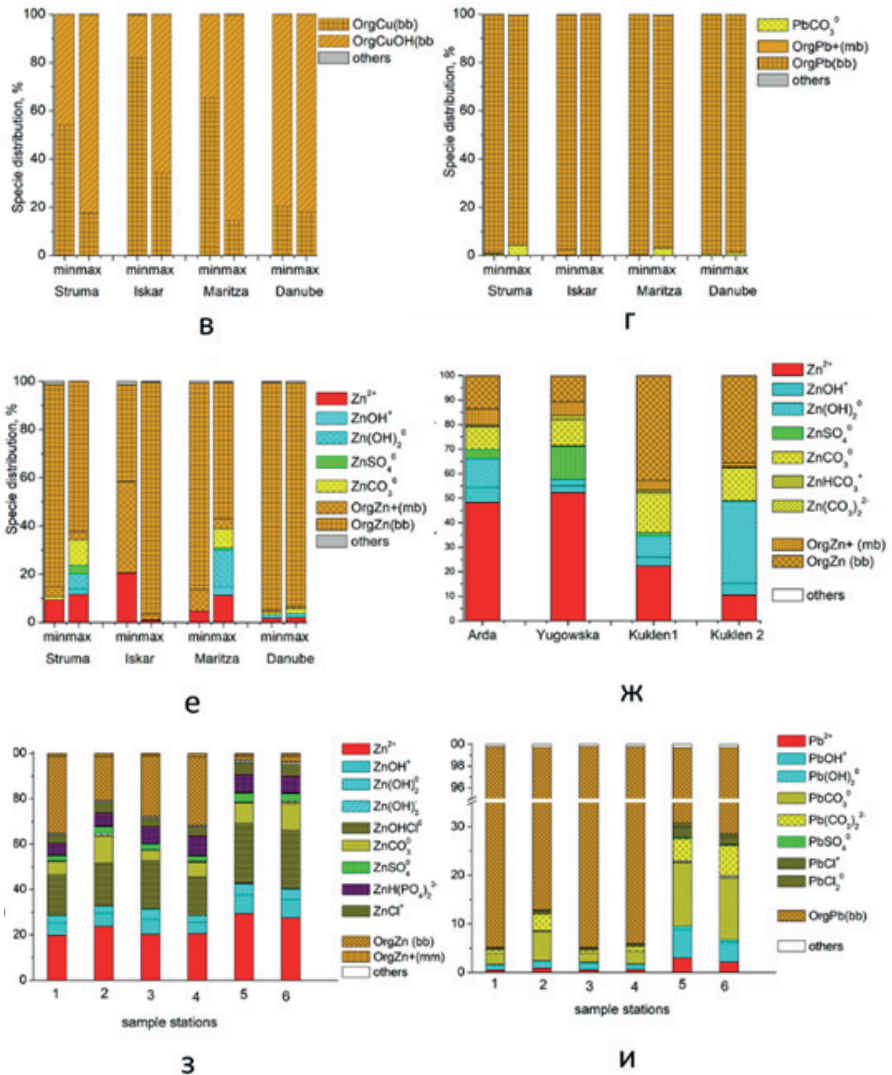


а



б





**Фигура 4.** Термодинамично изчислено разпределение на формите на Al (а), Mn (б), Cu (в) Pb (г), и Zn (е) във водите на реките Струма, Искър, Марица и Дунав при минимални, максимални измерени концентрации, Zn (ж) във водите на реките Арда, Юговска и отводнителни канали край Куклен при осреднени стойности и Zn (з) и Pb (и) в Поморийско езеро (1 – 6) пунктове на пробонабиране

Водите на езеро Поморие като представител на високо солени води

Поморийското езеро е хиперсолена лагуна от естествен произход. Към него може да се приложат термодинамични модели, различни от тези за сладки води, тъй като високата концентрация на макрокомпонентите определя йонна сила над 0,3.

Аналитичните резултати показваха, че езерото е чисто по отношение на изследваните нутриенти и преходни метали. В единични точки са отчетени завишени стойности на Zn и Pb над ПДК съгласно Наредба 8/25.01.2001 за крайбрежни води.

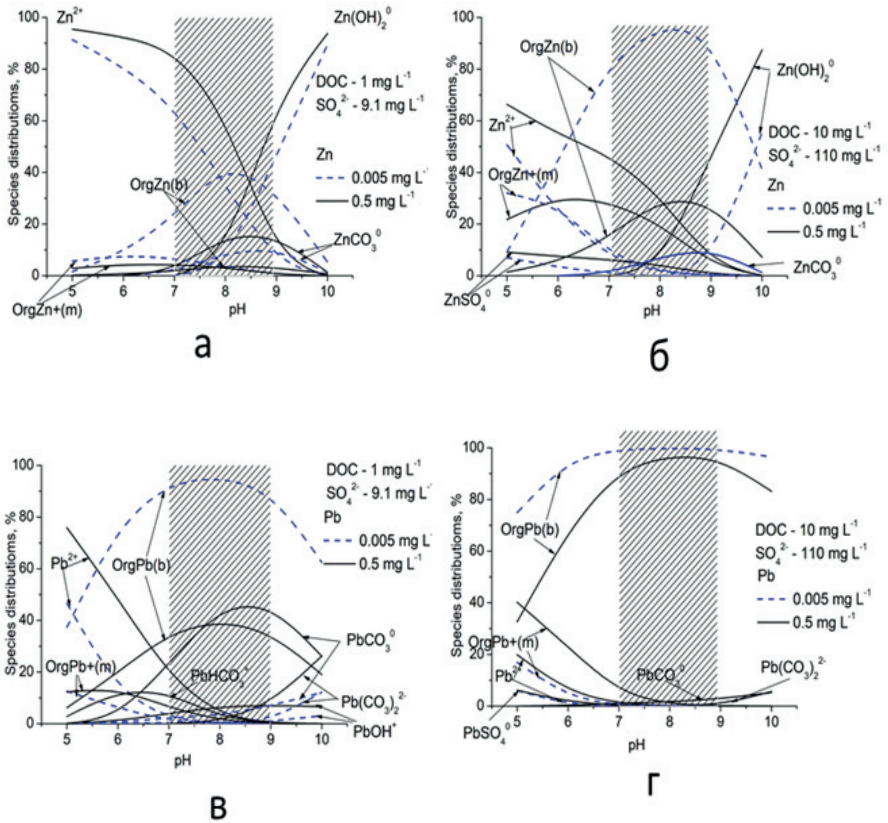
Термодинамично изчисленото разпределение на формите на изследваните метали показва значителни различия по отношение формите на Zn и Pb, където са изчислени значителни количества хлоридни и сулфатни комплекси (фиг. 43-и).

Практическо приложение на резултатите от термодинамичното моделиране за оценяване замърсяването на природни води

Определянето на доминиращите форми на съществуване на металите позволява да се направи по-пълна оценка на потенциалната им токсичност. Различният механизъм на усвояване на металите от представителите на флората и фауната в една екосистема определя различната значимост на доминиращите химични форми. При животните и хората навлизането на метали с потенциална токсичност става чрез вдишване, чрез храна и течности или през кожата, поради което свободните йони са най-рискови за тях. При растителните организми усвояването и натрупването се осъществява предимно чрез кореновата система, която предпочита органометалните комплекси.

Изследванията показваха, че Mn е най-рисков за животинския свят, тъй като във всички изследвани води съществува под формата на свободни йони, следва Zn във водите на реките Арда и Юговска и Поморийското езеро. За разлика от тях доминиращите форми на Cu и Pb са органометалните комплекси и те са най-рискови за растителността в близост до изследваните водни басейни. Доминиращите хидроксикомплекси на Al стимулират утаяването му под формата на  $Al(OH)_3$  и самоочистването на водите.

Прогнозиране поведението на преходни метали при промяна на условията



**Фигура 5.** Разпределение на формите на Zn (а-б) и Pb (в-г) при вариране рН и концентрациите на Zn, Pb, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и DOC. “б” и “m” означават бидентатни и монодентатни комплекси. Маркираната област на рН съответства на изследвани води

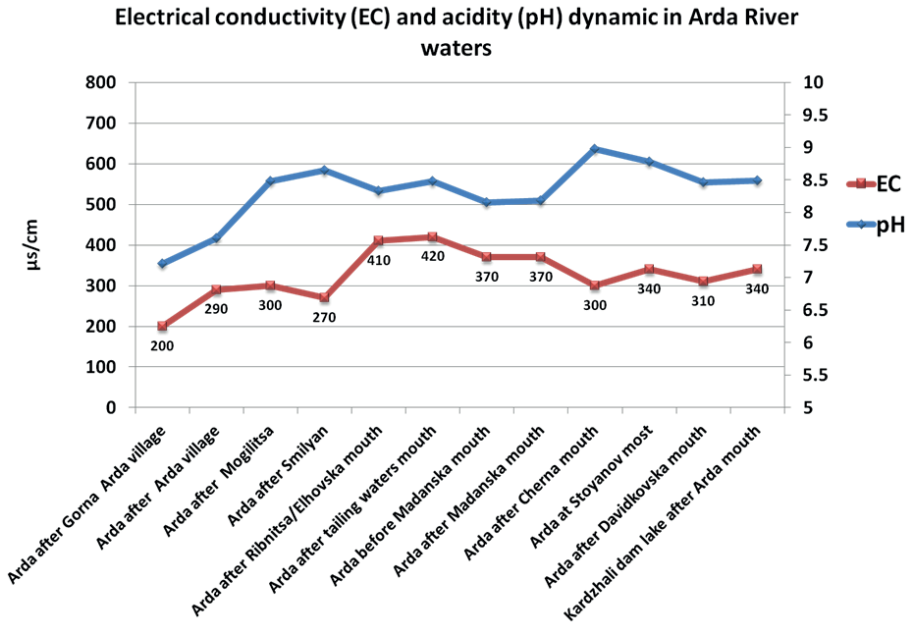
Промяната в условията на средата водят до промяна в доминиращите форми на елементите, а от там и на тяхната токсичност. Химичното поведение на Al, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd и Pb беше термодинамично изчислено при вариране на основни фактори като: рН, концентрации на металите, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> или Cl<sup>-</sup> йони и разтворен органичен въглерод (DOC). Така термодинамичните моделирания могат да се използват за оценка не само на моментното състояние на металите, но и да се прогнози-

ра тяхното поведение. Като пример на фиг. 5 са показани изчислените форми на Zn и Pb. Изчисленията показват, че силен ефект върху комплексобразуването при Zn показват рН, концентрациите на металите и на DOC, докато увеличената концентрация на SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> йони има незначителен ефект. За разлика от Zn, формите на Pb не се влияят значимо от външните условия.

Специфични изследвания са проведоха в басейна на р. Арда от екипа на кат. ЛЕОПС на ГГФ при СУ. Те са посветени на съвместното изучаване и изследване на замърсяването на дънните седименти и водите на реката, която е подложена на продължително индустриално антропогенно въздействие. В горното поречие на реката са получени резултати за съдържанието на As, Cd, Zn, Cu, Pb в дънните седименти от 30 пункта. Изследвани са поречията на реките Арда, Черна река, Бяла река, Малка Арда, Давидковска река, Елховска река, Рибница, Малка река, Маданска река, както и седименти от яз. „Кърджали“. Регистрирани са значителни превишения над референтните стойности за As, Cd, Zn, Cu, Pb с което се създава вреден ефект върху водните екосистеми. Най-голям брой пунктове (15) имат по-високи концентрации от референтните стойности по отношение на Pb. Концентрациите на As в 8 от пунктовете надвишават значимите с вероятен вреден ефект гранични стойности. Очертава се район около и под хвостохранилището при Рудозем с изключително високи стойности на концентрации на тежки метали в дънните седименти. 11 пункта превишават в различна степен референтните стойности за елемента Cd (4,98 ppm). При този елемент коефициентът на концентрация има най-висока стойност (25,3) в седиментите на Голяма река преди Мадан (126 ppm). Река Арда (6 пункта над РЕС), по 1 пункт при реките Давидковска, Маданска, Рибница, малкият приток, оттичащ хвостохранилището при Рудозем са останалите опасно замърсени пунктове с кадмий. В долното поречие на р. Арда също се наблюдава значително замърсяване на дънните седименти. Изключително високи съдържания на Pb, Zn, Cu, As, Cd, Mn са измерени в седиментите на Ерма река и Голяма река, в чийто водосбор има активен рудодобив и хвостохранилище. Високи концентрации на същата асоциация от елементи са измерени и в седиментите на яз. „Студен кладенец“ при с. Островци. Съдържанието на манган превишава праговите концентрации с вреден ефект в седиментите на р. Арда преди и след гр. Маджарово, след вливането на р. Крумовица, на река Бююкдере преди вливането ѝ в яз. „Студен кла-

денец“, на р. Върбица след гр. Момчилград (2,7 пъти), в района на с. Загорско, в района на с. Крилатица.

Изследвани са и физикохимичните параметри на водите в поречието на р. Арда. На фиг. 6. са представени получените резултати.



**Фигура 6.** Измерени стойности на физикохимични показатели във водите на река Арда, горно поречие до яз. „Кърджали“

Резултатите от опробваните на място физикохимични параметри – рН, Т, ЕС, ТДС (алкално-киселинни условия, температура, електропроводимост, общо разтворени вещества), показват динамика по течението на главната река и притоците ѝ. Стойностите на електропроводимостта (ЕС) на водите на р. Арда постепенно нарастват от изворите до вливането в яз. „Кърджали“. С бързо нарастване се отличава поречието след гр. Рудозем (след вливането на реките Рибница и Елховска – 410 µS/cm) и след Малка река (420 µS/cm), която оттича хвостохранилище в района на града. Това доказва продължаващото антропогенно влияние на минните обекти и дейности, съчетано с битови отпадни води. Най-ви-

соки стойности на ЕС за целия водосборен басейн са измерени във водите на Голяма река преди гр. Мадан –  $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ . В този пункт водите са в „добро“ състояние според изискванията на Наредба№ Н-4 за характеризирание на повърхностите води (2012, посл. изм. 2023).

Водите на р. Маданска превишават максимално допустимите концентрации – стандарт за качество на околната среда (МДК – СКОС) за съдържание на кадмий от  $0,9 \mu\text{g}/\text{l}$  – до  $26,8 \mu\text{g}/\text{l}$  (ок. 26 пъти); за олово – МДК-СКОС са  $14 \mu\text{g}/\text{l}$  при измерени до  $23,6 \mu\text{g}/\text{l}$  (ок. 1,7 пъти); за цинк МДК – СКОС са  $75 \mu\text{g}/\text{l}$ , а измерената концентрация е  $5098 \mu\text{g}/\text{l}$  (ок. 68 пъти!). Водите на река Арда при пункт Вехтино съдържат цинк, чиито МДК – СКОС са  $40 \mu\text{g}/\text{l}$ , а измерената стойност –  $75 \mu\text{g}/\text{l}$  (ок. 1,9 пъти превишение).

Екипът от МГУ въз основа на мащабните си проучвания е формулирал редица научно-приложни резултати, които условно могат да бъдат определени като чисто методични и/или даващи нови и допълващи данни по определен проблем, който е тясно свързан със замърсяването на подземните води от различни природни и антропогенни източници.

1. Предложен е **общ методичен подход (наръчник) за математическо моделиране на замърсяването на подземните води** от рудодобивни и уранодобивни обекти; рудопереработвателни комплекси; хвостохранилища; депа за битови отпадъци, депа за промишлени отпадъци; кариери за инертни материали, селскостопански обекти, големи инженерни съоръжения и др. В логическа последователност са разяснени темите, свързани с (i) избора на ключови замърсители; (ii) определянето на обхвата и компонентите на миграционното поле; (iii) дефинирането на обща схема за провеждане на моделните изследвания; (iv) възможностите за моделиране на механизма за движението на замърсители в подповърхностното пространство и подземните води в пълния му вид – конвективно-дифузионен пренос, с отчитане на процесите на сорбция-десорбция, механична дисперсия, необратимо елиминиране (естествен разпад и утаяване) и смесване; (v) основните инструменти, които успешно могат да бъдат ползвани за моделиране движението на замърсители в ненаситена и наситена среда – компютърни кодове VS2DI, Modflow и MT3D-MS. Апробиран е посредством разработените математически модели на замърсява-

нето на подземните води в пилотни обекти Маджарово, Елешница, Хасково, Марица – изток, КЦМ – Пловдив, и Брезник.

2. Изготвени са методически указания за практическо прилагане на различни показатели и критерии за оценка на замърсяването на подземни води от минни обекти, базирани на подробен преглед на европейското и българското законодателство, и анализ на световния научен опит, свързани с опазването на подземните води.

3. Детерминирани са хидрохимични индикатори за експресна оценка на замърсяването в уранодобивни райони по примера на пилотен обект Елешница. По-конкретно са установени и верифицирани корелации между параметри, които се определят бързо и лесно *in situ*, и наличие на определен тип замърсители във водата с цел експресен мониторинг.

4. Създадена и потвърдена е хипотезата за произхода и рязкото повишаване на манган в кладенците за добив на подземни води от терасата на р. Въча (пилотен обект Брестовица). Главното допускане е, че наблюдаваните процеси са в резултат на микробната редукция на  $Mn^{4+}$  до  $Mn^{2+}$ , водеща до разтваряне на естествено формирани слабо разтворими съединения. Хипотезата е доразвита с тримерен модел на условията за миграция на мангана, симулиращ сложните хидравлични връзки в различните части на водоноса, привличането на води от формираното езеро в старото русло на р. Въча и действието на вододобивните кладенци.

5. Разработен е хидрогеоложки двумерен модел на естествената интрузия на морски води в крайбрежния водоносен хоризонт във влажна зона Алепу, част от рамсарското място комплекс Ропотамо, защитена зона със световно значение.

6. За района на Маджаровското рудно поле е разработен 3D математически модел на замърсяването на подземните води и р. Арда с изтичащи от старите мини руднични води. Изследвано е поведението на тежките метали Zn, Pb, Cd и Ni. Посредством модела са определени съвременните граници и степен на замърсяване на подземните и повърхностните води и е изготвена прогноза за развитието на негативните процеси в периода до 2030 година.



7. За района на старото депо за битови отпадъци на Хасково са разработени 2D и 3D математически модели на условията за преминаване на замърсители от сметищното тяло през инженерните бариери, зоната на аерация и последващото им разпространение във водноносния пласт. Изследвано е поведението на типични за този източник силно и слабо подвижни замърсители по примера на Cl<sup>-</sup> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, които маркират съответно възможно най-големия обхват и интензитет на замърсяването. С моделите е направена реконструкция на процесите на замърсяване по време на експлоатацията на депото и средносрочна прогноза (5 г.) за тяхното бъдещо развитие след неговото закриване.

8. Създаден е математически хидрогеоложки модел за района на хвостохранилището към закрития уранодобивен комплекс Елешница, с който е изследвано поведението на типичните за този обект замърсители SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 238U и 226Ra. С направените компютърни симулации са проследени в исторически аспект процесите на замърсяване на подземните води в басейна на р. Места и са направени средносрочни прогнози (10 г.) за тяхното развитие при отчитане на резултатите от водения мониторинг.

9. Разработен е числен модел на условията за миграция на замърсители (по примера на SO<sub>4</sub>) от проектираните нови насипи с неопасни производствени отпадъци от ТЕЦ в насипищата на рудник „Трояново – север“, част от възгледобивен комплекс „Марица – изток“. Изготвена е дългосрочна прогноза (100 г.) за обхвата и степента на замърсяване на подповърхностното пространство от новите насипи. Въз основа на моделните решения е направена оценка на задържащата способност на геоложката основа и риска от замърсяване на подземните води.

10. Разработени са 2D математически модели за количествена оценка на реализираното в миналото замърсяване на подповърхностното пространство с непречистени отпадъчни води от КЦМ – Пловдив, които с канал са зауствани в р. Чая. С тях е оценен ефектът на стартиралото преди повече от 20 г. пречистване на каналните води, като е направена прогноза за самоизчистването на подземните води и почвата в периода до 2035 г. В моделите е изследвано поведението на характерни за подобен тип индустриални обекти замърсители SO<sub>4</sub> и

Cd при отчитане на тяхната концентрация в отпадъчните води преди и след изграждането на съвременни инсталации за пречистване на производствените емисии.

11. Разработен е общ подход за предварителна оценка на възможното въздействие върху подземните води при експлоатация на кариери за инертни материали. Предложеният подход е апробиран с компютърен модел за прогнозиране на замърсяването на подземните води и почвите при изпълнението на такъв проект в района на гр. Брезник. Изследвано е разпространението на силно подвижни замърсители (по примера на Cl<sup>-</sup>) в скалния комплекс след аварийни разливи и продължителни изтичания на замърсени води в района на кариерата. Прогнозата е направена за период от 100 г.

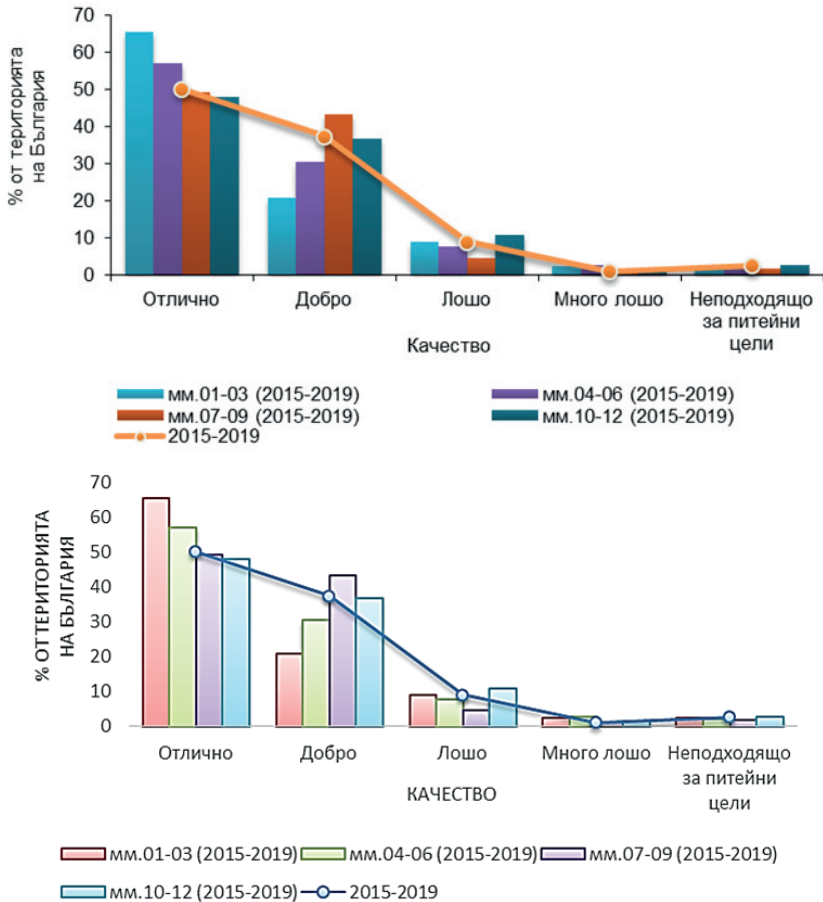
12. Предстои издаване на сборно научно издание с работно заглавие „Оценка и прогнозиране замърсяването на подземните води от природни и антропогенни източници“, което ще включва следните по-важни теми: (i) Хидрохимична изученост на подземните води в България; (ii) Генериране на кисели руднични води – главен източник на замърсяване на водите в рудодобивни и рудопереработвателни райони; (iii) Анализ на действащото законодателство за опазване на подземните води с предложение на методика и критерии за оценка; (iv) Установяване на хидрохимични индикатори за експресна оценка; (v) Методика за разработване на математически модели на замърсяването на подземни води; (vi) Хидрогеоложки компютърни модели на замърсяването на подземните води от различни природни и антропогенни източници – пилотни обекти, илюстриращи естествена интрузия на морски води – обект Алепу – комплекс Ропотамо, активиране и миграция на манган във водоносния пласт – обект Брестовица, полиметално замърсяване от стари рудници – обект Маджарово, замърсяване от закрити уранодобивни комплекси – обект Елешница, замърсяване от рудопереработвателни предприятия – обект КЦМ – Пловдив, замърсяване от ТЕЦ – обект Марица – изток, замърсяване от депа за битови отпадъци – ДТБО – Хасково, замърсяване от кариери за инертни материали – обект Брезник.

Много важни и представителни резултати отчита и екипът на ГИ. Изпълнявайки програмата, получените данни са интегрирани и обра-

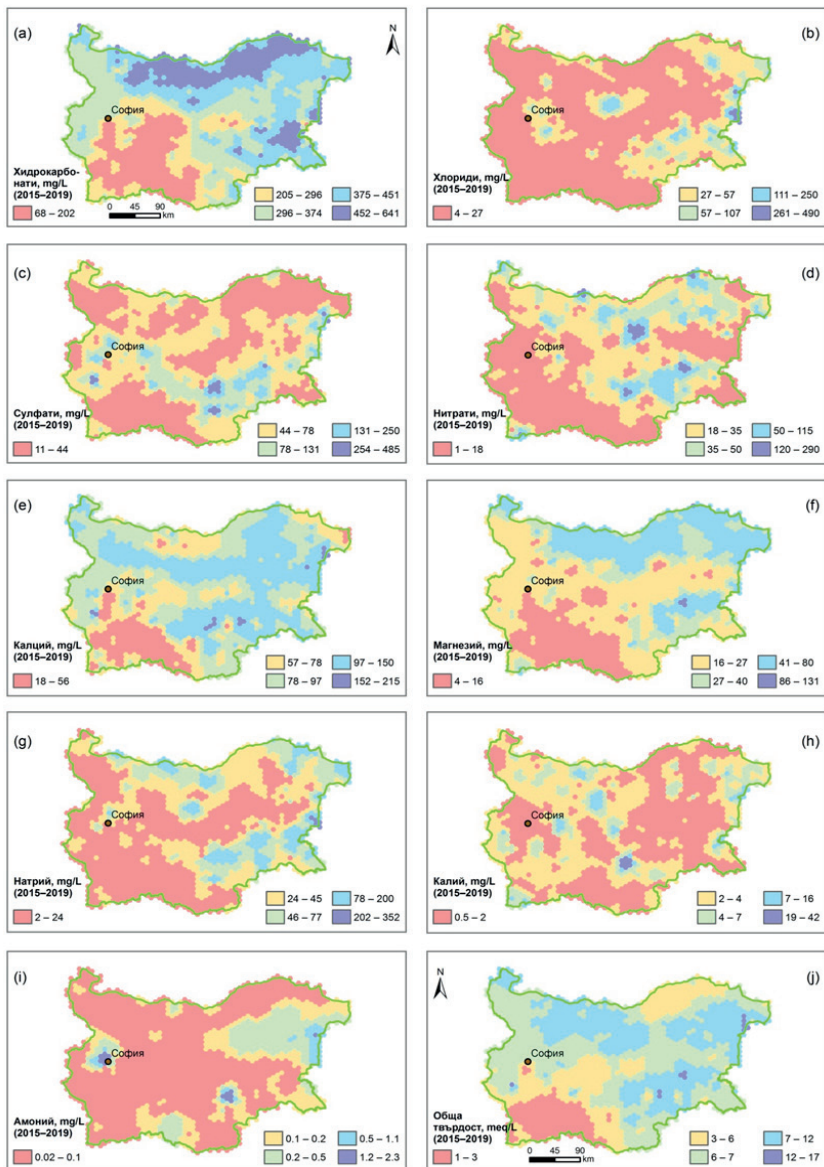
ботени в средата на ГИС, за да се създадат пространствени 2D модели за качеството на подземните води от територията на страната. За първи път са създадени модели (непубликувани), представящи площно качеството на подземните води в границите на страната. Иновативно е подхотдено при вземането на решение за покриване на цялата територията на страната с получен резултат по отделните показатели, когато записите от мониторинговите наблюдения в отделните мониторингови пунктове са непълни или липсват, т.е. не са извършвани наблюдение и химичен анализ на водни проби. Това много затрудни работата по програмата, но бяха намерени решения за изпълнението на тази задача.

В настоящата книга са показани само някои от постигнатите непубликувани резултати в резултат на изпълнението на програмата. Представени са средногодишните модели за изследвания период 2015 – 2019 г., установили пространственото разпределение на концентрациите на основните физикохимични показатели на годишна стъпка (фиг. 8-1 и фиг. 8-2). Алкалността (като  $\text{CaCO}_3$ , mg/L), минерализацията, карбонатната и постоянната твърдост са определени чрез съответните изчисления по данните за периода 2015 – 2019 г.

Качеството на подземните води относно питейно-битови цели е оценено сезонно и средномногогодишно за изследвания период 2015 – 2019 г. чрез изчисляване на т.нар. *Индекс за качество на подземните води*, *GWQI*. Резултатът (фиг. 9) е получен от комбинираното действие на показателите: натрий ( $\text{Na}^+$ ), калций ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магнезий ( $\text{Mg}^{2+}$ ), калий ( $\text{K}^+$ ), амоний ( $\text{NH}_4^+$ ), хлориди ( $\text{Cl}^-$ ), сулфати ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), хидрокарбонати ( $\text{HCO}_3^-$ ), нитрати ( $\text{NO}_3^-$ ), обща твърдост, минерализация, електропроводимост, перманганатна окисляемост и водороден показател (pH). Спрямо отделните области в България интегрираното качество на подземните води от хипергенната зона е определено като средноплощна стойност за територията на областта от получените модели за индекса (*GWQI*) за изследвания период 2015 – 2019 г. Качеството на подземните води като процент от територията на страната е представено на фиг. 7. От използваната петстепенна скала е установено, че подземните води са в отлично и добро качество за 88% от територията на страната и 9% – в лошо, 1% – в много лошо, и само 2% са неподходящи за питейни цели (или *GWQI* > 100) според класификацията, дадена от Brown et al. (1972).

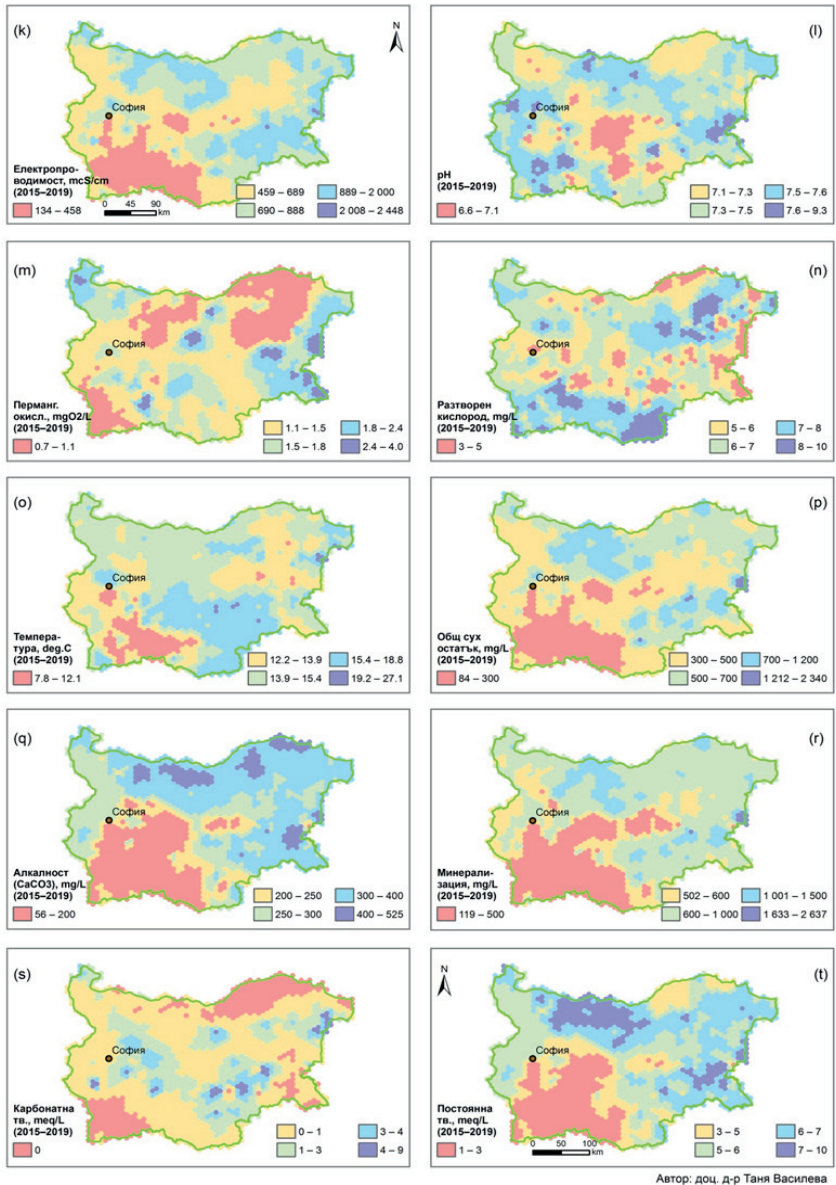


**Фигура 7.** Обобщаваща графика на средносезонното и средногодишното качество на подземните води като процент от територията на България за 2015 – 2019 г.

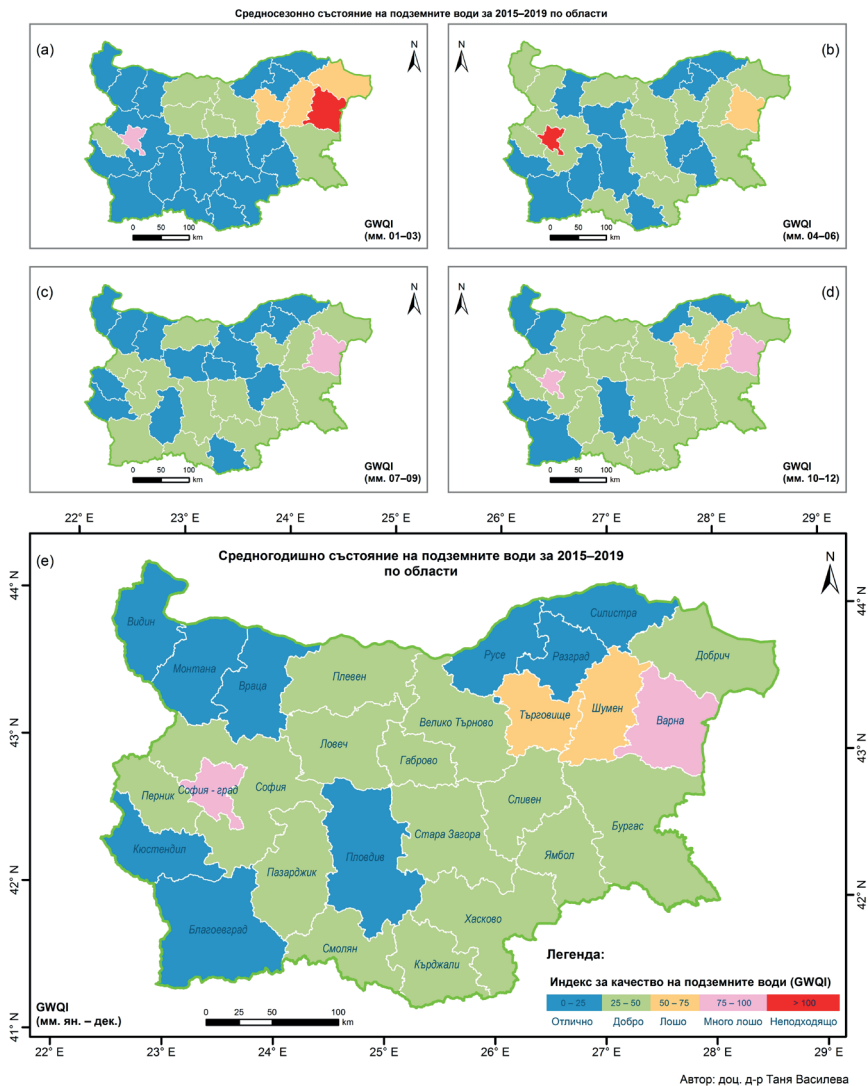


Автор: доц. д-р Таня Василева

Фигура 8-1. Средногодишни 2D-хексагонови модели, представящи разпределението на основните показатели за 2015 – 2019г.



Фигура 8-2. Средногодишни 2D-хексагонови модели, представящи разпределението на основните показатели за 2015 – 2019 г.



**Фигура 9.** Качество на подземните води за 2015 – 2019 г.: (а – д) средносезонно и (е) средногодишно разпределение по области

**Съдействие на държавни и общински органи, стопански субекти, НПО и пр. (препоръки за различни политики)**



В резултат на проведените изследвания и получените резултати бяха направени предложения и съответно бяха реализирани промени в Наредба Н-4 за характеризиране на повърхностните води (изменения и допълнения от август 2023 г.).

С участието на част от екипите в този работен пакет е извършен анализ на потенциалните въздействия от приемането и изпълнението на Интегрирания план в областта на енергетиката и климата на Република България 2021 – 2030 година и Стратегията за устойчиво енергийно развитие на Република България до 2030 година с хоризонт до 2050 година върху качеството на водите и екологичното състояние на повърхностните водни тела в национален мащаб.

### **Разпространение и популяризация на резултатите**

За периода на изпълнение на работната програма са публикувани над 60 научни статии, от които в издания с IF и/или SJR (в международни индексирани и рецензирани бази данни) са 35, а останалите – в списания от Националния референтен списък на изданията с научно рецензиране на НАЦИД или в чуждестранни научни списания. От всички статии, които са реферирани и рецензирани, 8 са с квартали Q1 и Q2 на SJR. Значителна част от публикациите са създадени от съвместни колективи от членове на екипите от работния пакет. В това отношение най-тясно сътрудничество се осъществи от колективите на МГУ и ГИ – БАН.

На над 45 национални и международни форуми са представени повече от 70 доклади и постери, проведени са няколко публични представления и лекции.

Общо за всички години с теми по проблематиката на работната програма на този работен пакет са защитени над 10 дипломни работи и 4 доктората за придобиване на НОС „доктор“.

### **Избрани публикации**

Apostolou, A., 2023. Distribution of Alien and Translocated Freshwater Fish Species in Bulgarian Lotic Ecosystems, according to the WFD Classification. Diversity, vol. 15, no. 9, p. 954; <https://doi.org/10.3390/d15090954> (Q1).

Benkov, I.; Varbanov, M.; Venelinov, T.; Tsakovski, S., 2023. Principal Component Analysis and the Water Quality Index – A Powerful Tool

- for Surface Water Quality Assessment: A Case Study on Struma River Catchment, Bulgaria. *Water*, vol. 15, 1961. <https://doi.org/10.3390/w15101961> (Q1).
- Jupke, JF., Birk, S., Apostolou, A., Aroviita, J., Baattrup-Pedersen, A., Baláži, P., Barešová, L., Blanco, S., Borrego-Ramos, M., van Dam, H., Dimitriou, E., Feld, CK., Ferreira, MT., Gecheva, G., Gomà, J., Hanžek, N., Haslev, IM., Isheva, T., Jamoneau, A., Jyrkänkallio-Mikkola, J., Kahlert, M., Karaouzas, I., Karjalainen, SM., Olenici, A., Panek, P., Paril, P., Peeters, ETHM., Polášek, M., Pont, D., Pumpuťyte, A., Sandin, L., Sochuliaková, L., Soinin, J., Stanković, I., Straka, M., Šušnjara, M., Sutela, T., Tison-Rosebery, J., Udovič, MG., Verhofstad, M., Žitunić, P., Schäfer, RB., 2023. European river typologies fail to capture diatom, fish, and macrophyte community composition. *Sci Total Environ.*, 896:165081. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165081. (Q1, топ 10).
- Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., Tsakovski, St.. 2021. Water quality assessment of a river catchment by the composite Water Quality Index and Self-Organizing Maps. *Ecological Indicators*, vol. 120, p. 106872, ISSN: 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106872> (Q1).
- Apostolou, A., Pehlivanov, L., Schabuss, M., Zornig, H., Wolfram, G., 2023. Fish Biozonation in the Balkan Peninsula, Especially in Bulgaria: A Challenge. *Fishes*, vol. 8, no. 91, pp. 1 – 8 (Q2).
- Mihaylova, V., Yotova, G., Marinova, K., Benderev, A., Lyubomirova, V., Tsakovski, S., 2023. Biomonitoring of Potentially Toxic Elements in an Abandoned Mining Region Using *Taraxacum officinale*: A Case Study on the “Tsar Asen” Mine in Bulgaria. *Applied Sciences*, vol. 13, p. 11860, <https://doi.org/10.3390/app132111860> (Q2).
- Rabadjieva, D., Kovacheva, A., Tepavitcharova, S., Gergulova, R., Ilieva, R., Vladov, I., Karavoltzos, S., 2021. Modelling of chemical species of Al, Mn, Zn, and Pb in river body waters of industrial areas of West Rhodope Mountain Bulgaria, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 193, p. 430, <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09193-w> (Q2).

### **Използвана литература в тази глава**

- ABBASI, T., ABBASI, S., 2012. *Water-Quality Indices*. Elsevier, pp. 353 – 356.

- Гърциянова, К. Опазване качеството на повърхностните води в България, Авангард Прима, 2022, ISBN:978-619-239-709-8, 171
- JENA, V., DIXIT, S. AND GUPTA, S., 2013. Assessment of Water Quality Index of Industrial Area Surface Water Samples. International Journal of ChemTech Research, no. 5, pp. 278 – 283.
- NEARY, B., CASH, K., HEBERT, S., KHAN, H., SAFFRAN, K., SWAIN, L., WILLIAMSON, D., WRIGHT, R., 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. CCME Water Quality Index 1.0 Technical Report. Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg, Manit.
- OTT, W.R., 1978. Environmental Indices: Theory and Practice. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor.
- UDDIN ET AL., 2021 UDDIN, M.G., NASH, S., OLBERT, A.I., 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. Ecological Indicators, vol. 122, pp. 107 ISSN: 1470-160X 218. ISSN: 1470-160X <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- UNEP – United Nations Environment Programme, 2007. Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report. Ontario, Canada. [www.gemswater.org](http://www.gemswater.org), ISBN 92-95039-14-9, 60p.
- VASILEVA, T. 2020. Assessing the ground waters of Bulgaria using a Water Quality Index. Geologica Balcanica, vol. 49, no. 2, Sofia, August 2020, pp. 25 – 38.
- VASILEVA, T. 2023. Regional application of complex groundwater quality indices and mapping for the territory of Bulgaria with possibilities for their use. Geologica Balcanica, vol. 52, no. 3, pp. 3 – 13. <https://doi.org/10.52321/GeolBalc.52.3.3>.
- \*\*\*<https://www.oregon.gov/deq/wq/pages/wqi.aspx> Geologica Balcanica, DEQ, Department of Environmental Quality – последно посетен на 17.08.2024.
- \*\*\*Наредба № Н-4 от 14 септември 2012 г. за характеризирание на повърхностните води, Обн., ДВ, бр. 22 от 5 март 2013 г., изм. август 2023.
- \*\*\*Наредба за стандарти за качество на околната среда за приоритетни вещества и някои други замърсители, Обн., ДВ, бр. 88 от 9 ноември 2010 г., изм. и доп. 2015.

**ПРОЦЕСИ, КАЧЕСТВО НА МОРСКАТА СРЕДА,  
ЕКОСИСТЕМНИ ФУНКЦИИ И УСЛУГИ В КРАЙБРЕЖНАТА  
ЗОНА И БЪЛГАРСКАТА ИКОНОМИЧЕСКА ЗОНА  
НА ЧЕРНО МОРЕ**

Доц. д-р Николай Вълчев, гл. ас. д-р Надежда Вълчева,  
доц. д-р Валентина Дончева, Надежда Друмева,  
доц. д-р Кремена Стефанова, гл. ас. д-р Елица Стефанова,  
доц. д-р Иван Генов, гл. ас. д-р Красимира Славова,  
гл. ас. д-р Наталия Андреева, Петя Ефтимова,  
гл. ас. д-р Богдан Проданов, проф. д-р Петя Иванова,  
доц. д-р Нина Джембекова, доц. д-р Мария Янкова,  
гл. ас. д-р Ивелина Златева, доц. д-р Виолин Райков,  
*Институт по океанология – Българска академия на науките*  
доц. д-р Елисавета Пенева,  
*Софийски университет „Климент Охридски“*  
проф. д-р Иван Атанасов, доц. д-р Красимир Русанов<sup>3</sup>  
*Агробиоинститут – ССА*

**Основни цели и задачи, обекти на изследване**

Черно море е уникален басейн поради редица хидрофизични, хидродинамични, биогеохимични и геоложки фактори и процеси, които водят до голяма изменчивост на средата, а следователно и на черноморската екосистема. Флуктуациите на тези изменения представляват нелинеен процес, чиято динамика варира в зависимост от времевия ѝ. Черноморската екосистема е особено уязвима от въздействието на антропогенни и климатични фактори, които водят до увеличаване на температурата, промяна в стратификацията и циркулацията на водните маси. Поради това основната цел е да се анализира и оцени риска за черноморската екосистема чрез приложение на мултидисциплинарен подход, обхващащ както динамиката на физикохимичната структура и обвързаността ѝ със състоянието и функционирането на екосистемата, така и бреговия риск от неблагоприятни и катастрофални хидрометеоро-

рологични явления, процесите, генериращи рискови геоложки явления, промените в черноморското ниво и екологични последици за басейна. Управлението на рибните запаси като инструмент за ограничаване на влиянието върху генетичната структура на популациите и загубата на генетичното разнообразие, както и оценката и анализа на условията за възстановяване на популациите, са също във фокуса на изследванията.

През последните десетилетия, особено след 90-те години на XX век, се наблюдават изменения в черноморската екосистема в резултат на директни и индиректни последици от редица антропогенни (еутрофикация, прекомерен улов, наличие на инвазивни видове) и климатични (напр. положителни аномалии на температурата) фактори. Промените в климата, породени от човешката дейност, водят до изменения във физичните и химичните свойства на атмосферата и океана с безпрецедентна скорост. Установено е, че глобалното затопляне има дори по-големи последици за морските екосистеми, отколкото за сухоземните, тъй като температурата влияе върху стабилността на водния стълб, обогатяването с хранителни вещества и степента на възпроизводство и по този начин – на обилието, размерния състав, разнообразието и трофичната ефективност на съобществата, в частност на зоопланктона. В тази връзка са определени времевите и пространствените тенденции в съвместното изменение на физичните и химичните полета и как те влияят върху динамиката на екосистемата, в това число на разпространението, разпределението и видовия състав на някои биологичните елементи. Във връзка с това са оценени и явленията, водещи до изменение на черноморското ниво в дълговременен геоложки мащаб, както и екологичните последици за басейна.

Крайбрежните райони са подложени на риск от наводнения и ерозия в резултат от екстремни хидрометеорологични събития. За да повиши устойчивостта на крайбрежната зона към тези явления, е адаптиран и приложен набор от общодостъпни методи, инструменти и управленски подходи за оценка на риска за бреговете. Резултатите ще подобрят способностите както за краткосрочно прогнозиране и ранно предупреждение, така и за оценката на дългосрочния риск за крайбрежието и подготвят основата за оптимизиране на комбинацията от мерки за превенция, смекчаване на риска и подготвеност за реагиране при опасни хидрометеорологични явления.

Високото генетично разнообразие е ключово за оцеляване на рибните популации, повишавайки устойчивостта им към различни стресори на средата (напр. климатични промени, замърсители, патогени). Молекулярно-генетичните техники позволяват точното диференциране на рибните популации и оценката на генетичното разнообразие. Във връзка с това е проведено изследване с принос към управлението на рибните запаси като подход за ограничаване на влиянието върху генетичната структура на популациите и загубата на генетичното разнообразие.

### **Изследователски методи**

Хидрологичният режим на Черно море се формира в резултат на въздействието на външни фактори. Те могат да се разделят на две групи: фактори, действащи на повърхността на морето в процеса на взаимодействието му с атмосферата (топлина, влага, соли и газове), и фактори, локализирани на страничните граници (речен вток, водообмен, свързаните с него топлообмен и обмен на соли през проливите, влиянието на релефа на дъното).

Изследванията са фокусирани върху западната част на Черно море и обхващат целия воден стълб. По отношение на студения междинен слой са използвани данни за целия Черноморски басейн, където слоят може да бъде наблюдаван обикновено на дълбочини над 200 m. В този случай басейнът е разделен на пет подрегиона, за да се разграничат областите със специфична мезомасщабна динамика. Четири подрегиона са разграничени в рамките на антициклоналната периферия – западен (1), северен (2), източен (3) и южен (4) и един (5), включващ циклоналната централна част на басейна, ограничена приблизително от 1400-m изобата. Изследваният период обхваща 30 години (1993 – 2022 г.). Оценката е извършена за два периода: последователни месеци юни – юли – август – септември и януари – февруари – март, приблизително съответстващи на лятото и зимата.

Изследваният регион включва зони с разнообразни хидрологични характеристики – крайбрежие, шелф, открито море (континентален склон), които са взети на проби с различна времева честота и пространствена плътност. Климатичните характеристики са изведени чрез интерполация в регулярна пространствена мрежа. Разделителната способност на

мрежата трябва да бъде в съответствие с броя и плътността на станциите за вземане на проби и количеството събрани данни, от една страна, и типичните мезомасщабни процеси, от друга. От хидродинамична гледна точка, присъщият мащаб на радиуса на деформация на Rossby е водещ в това изследване. Този радиус е 20 – 30 km в открити райони и около няколко километра близо до брега (Stanev and Rachev 1999), поради което е подбрана хоризонтална разделителна способност  $1/8^\circ$ , като се използва методът на обективния анализ (Barnes 1964). Изследвани са няколко характеристики, като типична температура; дълбочина и дебелина на слоевете, определящи термохалинната стратификация в басейна. Освен това се посочват индикаторите, подкрепящи въздействието на изменението на климата.

Циркулационната система в Черно море е доминирана от мезомасщабна активност, насложена върху квазипостоянните елементи на басейнов и подбасейнов мащаб. Както е с повечето вътрешни морета в Северното полукълбо, основните характеристики на циркулацията на водата в Черно море се характеризира с обща циклонална система от течения, с подчертана вихрова циркулация в зоните на шелфа и в близост до крайбрежието. Основният динамичен фактор за Черно море – т.нар. кръгово течение, или основно черноморско течение (ОЧТ), е сравнително мощно циклонално течение, чийто главен поток и меандрите му покриват цялата периферия на басейна. Ширината на това кръгово течение е няколко десетки километра, а средната скорост в центъра му достига до 40 – 70 cm/s, а при по-силни и устойчиви ветрове – и по-висока. Скоростта намалява с дълбочината, особено под 100 m. Движението запазва циклонния си характер до 800 – 1000 m дълбочина, а понякога и до морското дъно. ОЧТ разделя вътрешната (дълбоководна) динамична зона с циклонен характер, включваща както двата големи циклонни вихъра, така и серия от взаимосвързани циклонни мезомасщабни вихри, и периферната (крайбрежна) динамична зона с преобладаващ антициклонен тип циркулация, състояща се от серия антициклонни вихри. Тези вихри са квазиустойчиви, появяват се периодично и са прикрепени към брега (Staneva et al. 2001; Korotaev et al. 2003). Тази система на циркулация е допълнително придружена от меандри, нишки, офшорни струи в крайбрежната зона, както и циклично разпространяващи се много преходни характеристики на ОЧТ. За целите на проекта са изследвани тече-



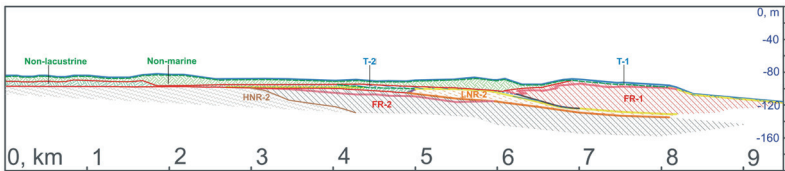
ния в близост до българския бряг на Черно море от числени симулации за периода 1993 – 2019 г.

Зоопланктонът играе важна роля за определяне обхвата и скоростта на климатичните изменения посредством оценка на процесите, свързани с т.нар. „биологична помпа“. В рамките на този механизъм част от въглеродния двуокис се фиксира от фитопланктона, който, бидейки консумиран от зоопланктона и потъвайки на дъното в течение на денонощната миграция на планктонната фауна, може да се използва като индикатор. В допълнение, зоопланктонът е пойкилотермен, т.е. физиологичните процеси като поглъщане, дишане и репродуктивно развитие са силно чувствителни към температурата, като скоростите се удвояват или утрояват с нейното повишаване (Mauchline 1998). Повечето видове зоопланктон се характеризират с кратък жизнен цикъл (<1 година), така че съществува тясна обвързаност на динамиката на климата и развитието на популацията (Haas et al. 2005). Някои факти подсказват, че зоопланктонът е по-чувствителен индикатор, отколкото дори самите променливи на средата, тъй като нелинейният отговор на планктонното съобщество може да усилят по-слабите сигнали на околната среда (Taylor et al. 2002). В научната литература изследванията се фокусират върху *Copepods* (копеподи) не само защото са космополитна група, но и поради значимостта им в морските хранителни мрежи.

За да се оцени как изменението на климата влияе върху биологичното разнообразие, усилията бяха насочени към изясняване на: 1) процесите, които оформят живите системи; 2) корелацията на популационната динамика на определени видове зоопланктон с тенденциите в изменението на температурата; 3) до каква степен изменението в климата води до промяна в хоризонталните и вертикалните местообитания и някои физиологични процеси на ключови зоопланктонни видове: студенолюбивите копеподи *Pseudocalanus elongatus*, *Calanus euxinus* и топлолюбивите *Centropages ponticus*, чиито индикаторни свойства са изследвани. Използвани са данни за отделни „цели“ видове зоопланктон от 51-годишна времева редица (1967 – 2018) от трансект Галата.

Освен съвременните изменения на климата са установени колебанията на черноморското ниво за последните 20 000 години. Изменението на морското ниво е един от основните фактори, които определят еволюцията на басейна и неговите характеристики. Освен това чрез него може

да се обяснят екологичните промени вследствие на настъпилите климатични промени през този интервал. Сеизмостратиграфията (секвентна стратиграфия), представляваща концептуална революция в широката област на седиментната геология (Miall 1995), беше приложена, за да се установи точната крива на изменението на нивото на басейна през последните 20 000 години. Този метод е фокусиран единствено върху анализа на промените във фациесите и геометричния характер на слоевете и идентификацията на ключовите повърхности, за да се определят хронологичният ред на запълване на басейна и ерозионните събития (Kolla 2007; Catuneanu et al. 2017). Методът се състои в определянето на четири генетични единици във всяка една секвенция (фиг. 1), като в комбинация със стандартни методи (напр. радиовъглеродно датиране, микроскопски (петрографски), биостратиграфски, литоложки и гранулометричен анализ) е предложено решение на досега съществуващите проблеми в стратиграфията на най-младите отлагания в Черно море и са намерени взаимовръзки между климатични, геоложки и екологични събития и последвалите изменения.



**Фигура 1.** Секвентно-геоложка интерпретация за двете повърхностни и последователни секвенции на разрез XV (Genov et al. 2020). Последователни генетични единици в една секвенция: HNR, FR, LNR, T. Секвенцията е обозначена с цифра

Крайбрежните райони са сред най-ценните и силно динамични среди, които обединяват богати природни ресурси, голяма концентрация на човешко население и разнообразие от социално-икономически дейности като урбанизация, туризъм и отдих, промишлено производство, пристанищни дейности и корабоплаване, селско стопанство и др. В същото време, крайбрежните зони са силно уязвими към различни природни явления, сред които предизвиканите от морски бури вълни и повишаване на нивото могат да се считат за основните причини за наводнения и ерозия на крайбрежието, които могат да причинят човешки

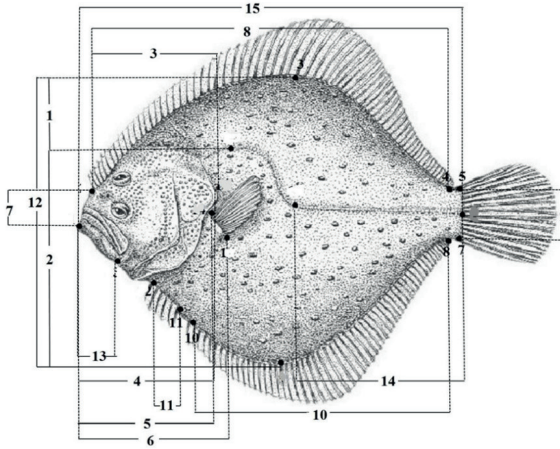
жертви, щети на инфраструктурата, нарушаване на поминъка и огромни икономически последици. В исторически план и през последните години силни бури, причинили значителни щети по Българското черноморско крайбрежие, са се случвали в края на 70-те и началото на 80-те години на миналия век, както и в периода 2010 – 2015 г. (Galabov and Chervenkov 2018; Andreeva et al. 2021). Увеличаването на честотата и интензивността на крайбрежните наводнения поради изменение на климата (Vousdoukas et al. 2016) поражда необходимостта от оценка на съвременните и бъдещи крайбрежни рискове в подкрепа на управлението на крайбрежието, намаляването на риска от бедствия, вземането на решения и прилагането на съответните политики и стратегии.

Съществуващите оценки присвояват еднакво ниво на риск за крайбрежни участъци с различна дължина и разнообразни геоморфоложки условия. Ето защо изследванията по проекта предоставят по-подробна оценка на заплахата от наводнения, уязвимостта и свързаните с нея рискове в рамките на определени сектор от Българското черноморско крайбрежие.

Подход, който предлага по-подробна оценка, е Рамката за оценка на крайбрежния риск (CRAF), разработена в проекта RISC-KIT (Van Dongeren et al. 2018). Методологията е съставена с цел идентифициране на критични крайбрежни зони (горещи точки), като се отчита вероятността от възникване на екстремни морски бури, и е приложена и валидирана за десет европейски брегови участъка (Viavattene et al. 2018), а също така и извън Европа (Pazini et al. 2022). CRAF следва подход, основан на индекси, и комбинира индикатори за заплаха и експозиция на различни брегови рецептори (земеползване, население, транспорт, комунални услуги и бизнес) в единен индекс, за да се сравнят крайбрежните сектори.

По отношение на генетично разнообразие на рибните популации са приложени генетични и морфометрични методи за анализ на калкана пред българския бряг на Черно море на видово и популационно ниво. Генетичните анализи са базирани на използването на два митохондриални и седем микросателитни маркера (Ivanova et al. 2021, Zlateva et al. 2023). Анализът на морфологията на вида включва 6 меристични белега: брой на лъчите в дорзалната перка (DFR), брой на лъчите в гръдната перка (PFR), брой на лъчите в аналната перка (AFR), брой на лъчи-

те в коремната перка (VFR), гръдна перка от долната страна на тялото (BPFР), брой на лъчите в опашната перка (CFR) и 14 морфометрични признака и стандартната дължина MC15 (SL) (фиг. 2).



**Фигура 2.** Схема на морфометричните признаци на калкана

### Дейности по програмата

На базата на данни за температурата на морската повърхност (ТМП), които представляват месечни глобални стандартни изображения от MODIS/AQUA Level 3 с хоризонтална резолюция 4 km, са изследвани многогодишните пространствени и времеви изменения в разпределението на повърхностната температура в западната част на Черно море за периода 2003 – 2021 г. през сезоните, характеризиращи се с най-голяма динамика – зима и лято, като са получени климатични карти. Изследвана е сезонната динамика в разпределението на повърхностната температура, направена е оценка на климатичния годишен цикъл, като са определени месеците, характеризиращи се с най-големи колебания, тези с максимално охлаждане и затопляне на морската повърхност, а също така и междугодишно изменение на параметъра. Изчислени са пространствените и времевите температурни аномалии, дефинирани са зоните с най-големи изменения в разпределението на повърхностната температура. В допълнение, за да се определи изменението на термохалинната структура на басейна, като отклик от влиянието на клима-

тичните промени, са използвани *in situ* профили на температурата, получени както от корабни наблюдения, така и от профилиращи буи Argo. Освен това е използван набор от данни, получен от батитермографски (ХВТ) сонди (Valcheva and Valchev, 2014). Обработени са повече от 5000 профила, 47% от които представляват корабни наблюдения, а 52% са данни, получени от Argo (от 2005 г.).

Дългосрочни измервания на теченията с добра пространствена разделителна способност е много трудно и скъпо за организация. В повечето случаи по-удобно е те да бъдат пресметнати чрез числено модели на циркулацията на морето. За целите на проекта е използван моделният реанализ на Черноморския център за мониторинг и прогноза към Морските услуги на Програмата „Коперник“<sup>1</sup>. Реанализът е извършен чрез океанския модел NEMO<sup>2</sup> за периода 1993 – 2019 г., като са налични ежедневни данни за основните океанографски параметри с хоризонтална разделителна способност около 2 – 3 km (Lima et al. 2020). Използвайки гореописаните данни, скоростта на течението е осреднена.

По отношение на биогеохимията на Черно море, за пръв път е извършен анализ на подкиселяването в българската крайбрежна акватория. Изследвани са непрекъснати редове от собствен мониторинг за периода 1998 – 2021 г. на две станции, разположени във Варненския залив и в началото на изкуствения канал, свързващ Варненския залив и Варненското езеро, и данни от мониторинг на морската околна среда от 2012 г. досега.

Във връзка с изменението на черноморското ниво през последните 20 000 години, са направени петрографски анализи на проби от сондажни ядки AKAD09-17, EoxRo-1, EoxRo-3, които разкриват че белите прослойки в основата на сапропелите не са биогенни, а съдържат неорганичен, оризоподобен арагонит – критерий за условия на значителни изпарения в басейна, плитководни минерални отлагания в началото на холоцена и преотлагане. В допълнение, са измерени водни характеристики около рифовите структури пред плаж „Перла“, гр. Приморско. С цел реконструкция на палеоекологичните условия в Черно море са извадени скални рифови проби, съдържащи останки от миди, които са датирани с радиовъглероден метод (фиг. 3). Радиовъглеродната възраст, получена

---

1 [https://data.marine.copernicus.eu/product/BLKSEA\\_MULTIYEAR\\_PHY\\_007\\_004/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/BLKSEA_MULTIYEAR_PHY_007_004/description)

2 <https://www.nemo-ocean.eu>

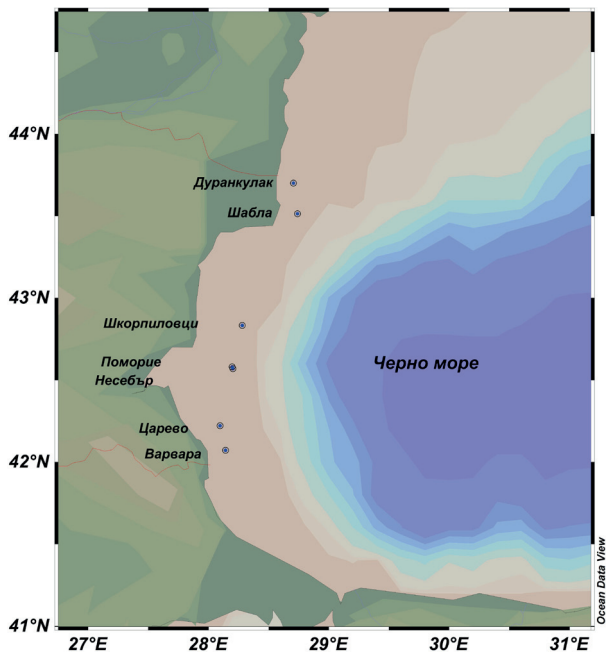
за извадената от основата на скалния риф фосилизирана *Ostrea edulis*, е 5004±40 14С г. Това е една от най-старите възрасти за появата на този вид в Черно море след последното му свързване със Световния океан през холоцена, докладвани в литературните източници.



**Фигура 3.** Местоположения на взети седиментни проби и ядки

За целия период от разработката на проекта са изследвани общо 280 екземпляра калкан (*S. maximus*) на база на значителен обем анализи: 3080 генетични (2520 на микросателити и 560 на митохондриални маркери), както и 5600 морфологични (по 6 меристични и 14 морфометрични белега). Генетичните секвенции на мт. ДНК (COIII и CR) са депозиранни в световната генетична база данни GenBank<sup>3</sup>. Направени са оценка и сравнителен анализ на генетичното разнообразие на седем популации на калкана пред българския бряг на Черно море (фиг. 4) на база прилагане на два типа генетични маркери (микросателити и митохондриална ДНК).

<sup>3</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>



Фигура 4. Местоположения на взети проби от калкан

Методологията на оценката на интензитета на заплахата от наводнения в крайбрежната зона с определена вероятност за реализация се изразява в последователност от стъпки: разделяне на регионалното крайбрежие на сектори със сравнима дължина; избор на напречни на брега профили, които да са представителни за всеки сектор; подбор на екстремни хидрометеорологични събития; избор на най-подходящите параметрични модели за оценка на заплахата; изчисляване на интензитета ѝ за конкретни условия; дефиниране на вероятността за реализация чрез анализ на екстремните стойности; определяне на площите на заливане и отстъпване на бреговата линия (при ерозия на пясъчни плажове). Резултатът от оценката се изразява в дефиниране степента на заплахата като индикаторна стойност. Регионалният мащаб на изследването предполага използването на генерализирани формулировки при изчисляване на нивата на заливане на брега и ерозията на плажа за широк диапазон от хидродинамични (покачване на морското ниво и вълнение) и морфоложки условия. В резултат са идентифицира-



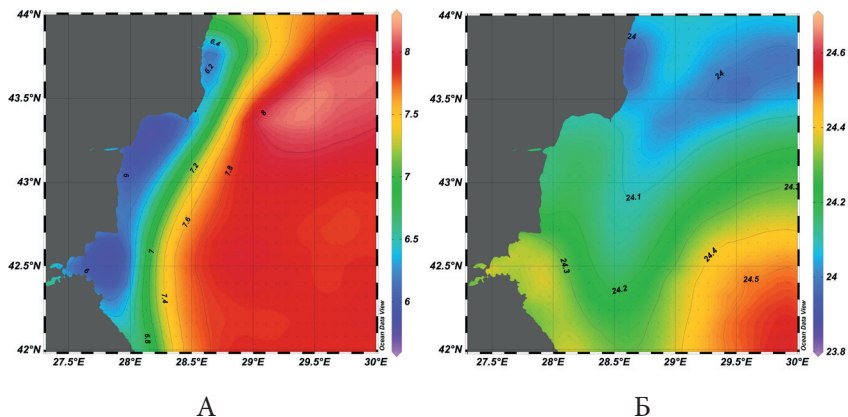
ни „горещи точки“ по регионалното крайбрежие на Бургас в подкрепа на крайбрежните мениджъри, местните и регионалните заинтересовани страни, както и тези, които вземаг решения и прилагат политики, свързани с управлението на бреговата зона. За да се приложи методологията, изследваната брегова ивица е разделена на 71 сектора с дължина на бреговата линия от 500 м до 1 км поради спецификата на изследвания бряг, сложните форми и разнообразието от условия. Впоследствие, с цел съпоставимост, резултатите за всеки сектор са преизчислени така, че да съответстват на дължина от 1 км. Границите на секторите са определени в зависимост от типа бряг и от степента на техногенна натовареност.

### **Получени фундаментални резултати**

#### ***Климатични изменения във вертикалното разпределение на температурата***

Изключително тънкият повърхностен воден слой с дебелина около 10  $\mu\text{m}$  определя топлообмена на границата море – атмосфера и реагира най-бързо на атмосферните въздействия, поради което неговата температура изпитва значителна пространствена и времева (междугодишна, сезонна и синоптична) изменчивост. Освен това, пространствените вариации на повърхностната температура могат да се използват като индикатор за голямо- и мезомасщабната динамика на водите в Черно море.

За да се установят особеностите на динамиката на температурата на морската повърхност през зимата и лятото в западната част на Черно море, са анализирани данни за периода 2003 – 2019 г. въз основа на сезонни времеви серии за крайбрежната зона, вътрешния и външния шелф и открито море (Valcheva & Slabakova 2020). Разпределението на температурата през зимата се характеризира с наличието на тясна фронтална зона с високи хоризонтални градиенти между крайбрежните и вътрешните шелфови води, от една страна, и външния шелф и дълбоководието, от друга, дефинирани между изотерми 6.8 и 7.6°C (фиг. 5, ляво). Тя се определя от по-студените крайбрежни води с температури, по-ниски от 6.2°C, и обширна площ от квазиеднородни открити морски води с температури около 8°C. Фронтът се свързва с интензивното основно черноморско течение (ОЧТ), което през този сезон е устойчиво и притиснато към страничните граници на басейна.



**Фигура 5.** Пространствено разпределение на температурата на морската повърхност (°C) през зимата (А) и през лятото (Б) за западната част на Черно море за периода 2003 – 2019 г.

През лятото относително по-хладните води в най-северната част на западния шелф се характеризират с температури, по-ниски от 24.1°C. С разпространението си на юг тези води се трансформират, като тяхното влияние се проследява по целия шелф (фиг. 5, дясно). Фронталната зона е по-слабо изразена и значително по-широка в сравнение със зимата, което се обуславя от отслабването и нестабилността на голямомащабната циркулация, както и от наличието на квазипостоянни антициклонални вихри. Типичен пример е Бургаският вихър, който се наблюдава на климатичното хоризонтално разпределение на повърхностната температура от крайбрежната страна на ОЧТ и през двата сезона, проследим от температури, по-високи от 24.3°C през лятото и по-ниски от 6°C през зимата. Водите във вихровото образуване през съответните сезони са малко по-топли и по-студени по отношение на заобикалящата ги среда. Друг квазипостоянен вихър е Калиакренският, който съдържа по-студени води и през двата сезона: 6.4°C през зимата и 24°C през лятото. По този начин, моделът на лятната циркулация позволява хоризонтален обмен на вода между периферията на голямомащабните вихри и шелфа. Процесът на увличане на по-топли води от открито море ( $T > 24.5^\circ\text{C}$ ) към шелфа и крайбрежната зона, които се разпространяват на север, се наблюдава особено в средната и южната част на района. Летните стойности на повърхностната температура се увеличават от северозапад на

югоизток. Пространственото изменение на температура е под  $0.7^{\circ}\text{C}$ , което е три до четири пъти по-малко в сравнение със зимата ( $2.6^{\circ}\text{C}$ ).

Повишаването на температурата на морската повърхност през зимата може да се използва като индикатор за интензивността на охлаждане. В този смисъл са определени най-топлите – 2007, 2009 – 2010, 2014, 2016, 2020 – 2021 г. ( $7.9 - 8.7^{\circ}\text{C}$ ), и най-студените зими – 2006, 2012 и 2017 г. ( $4.3 - 4.8^{\circ}\text{C}$ ). През последните 20 години както зимните, така и летните стойности на повърхностната температура показват дългосрочна тенденция на нарастване. И докато зимните температури нарастват почти равномерно с  $0.6 - 0.7^{\circ}\text{C}/\text{y}$ , то летните варират в малко по-широк диапазон  $0.5 - 0.7^{\circ}\text{C}/\text{y}$ , като затоплянето на крайбрежните води е най-ясно изразено.

Повърхностният размесен слой се дефинира като вертикална квази-хомогенна по отношение на температурата, солеността или плътността термохалинна структура, която директно взаимодейства с прилежащата атмосфера. Важна характеристика на този слой е неговата дълбочина, която се определя от интензивността от механичното размесване, предизвикано от вятъра, притока на топлина и речния вток, както и от промените в циркулацията (Jang et al. 2011). Промените в дебелината на слоя влияят върху колебанията на температурата на морската повърхност и поглъщането на атмосферния въглерод, притока на хранителни вещества и на светлина. От своя страна, това влияе върху периодите на есенните и пролетните цъфтежи на фитопланктона, а следователно и на биологичната продуктивност на Черно море (Oguz et al. 2000).

Дълбочината на повърхностния размесен слой в Черно море се характеризира с голяма сезонна динамика: през зимата рядко надвишава  $50 - 75 \text{ m}$ , а през пролетта и лятото –  $15 - 20 \text{ m}$ . През лятото той е сравнително тънък поради ниската интензивност на хидродинамичните процеси, за разлика от охлаждането по време на зимната конвекция. Поради изменението на дълбочините в крайбрежната зона и куполообразното залягане на изопикничните повърхности, дълбочината на повърхностния размесен слой се изменя и в пространството. Температурата в слоя се изменя от  $27^{\circ}\text{C}$  през август до  $19^{\circ}\text{C}$  през септември. През последните 20 години се наблюдава тенденция за повишаване на температурата в повърхностния размесен слой, като са идентифицирани два периода на постепенно покачване: 1997 – 2007 г. и 2008 – 2016 г., което предполага квазидекаден мащаб на изменение (Valcheva 2018).

Амплитудата на измененията нараства от север ( $0.53^{\circ}\text{C}/\text{декада}$ ) на юг ( $0.97^{\circ}\text{C}/\text{декада}$ ), което означава, че в южните райони повишаването на температурата е по-осезаемо в сравнение със северните.

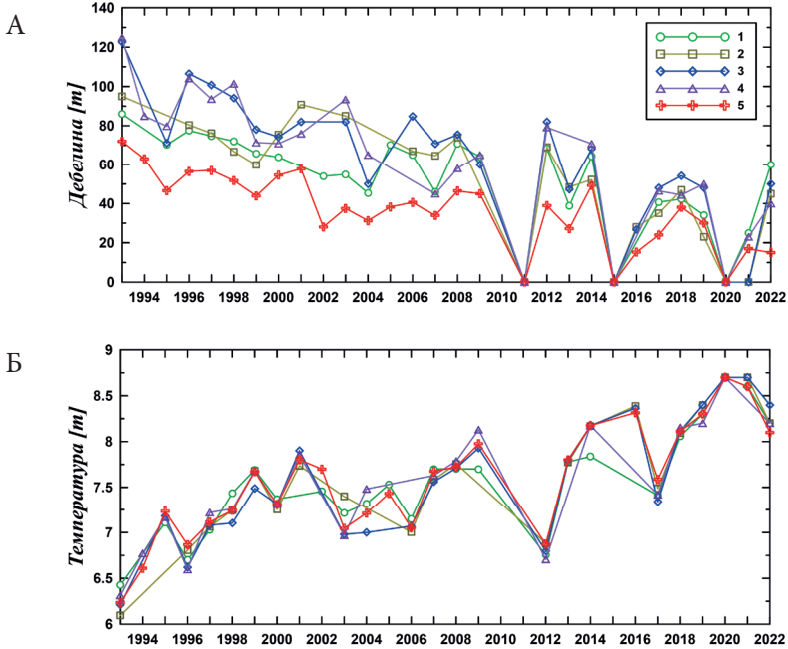
Друга основна характеристика на вертикалната стратификация е студеният междинен слой, който се наблюдава в периферията на шелфа и дълбоководните региони. Той представлява контактната зона между повърхностните и дълбоките води в Черно море. Долната му граница съответства на горната част на постоянния пикноклин, а през лятото и есента (юни – декември) горната му граница се определя от сезонния термоклин. Традиционно ограничен от изотермата  $8^{\circ}\text{C}$ , студеният междинен слой съдържа водите с най-ниски температури в целия воден стълб (Oguz and Besiktepe 1999; Ivanov et al. 2001).

Установено е, че СМС се образува както в центровете на циклоналните вихри, така и при екстремно охлаждане на водите в северозападния шелф и континентален склон (Ivanov et al. 1997; Stanev et al. 2003), които след това се разпространяват адвективно в цялото море на дълбочини 50 – 100 m чрез циклоналната циркулация, доминирана от ОЧТ. Бароклинните вихри, образувани от двете му страни, играят важна роля в хоризонталния обмен на топлина и соли (Staneva et al. 2001; Kubryakov et al. 2015). Дълбочината на минималната температура – ядрото на студения междинен слой, може да потъне до повече от 110 m в периферията на басейна (зоната на антициклоналните вихри) и да се издигне до 30 m в центъра циклоналните вихри (Zatsepin et al. 2003), докато средните стойности от 60 – 90 m се наблюдават над континенталния склон.

Многогодишните колебания в дебелината на СМС показват постоянна тенденция към намаляване през последните три десетилетия: от повече от сто в началото на 90-те до няколко десетки метра през 2018 г. (Valcheva et al. 2020). По-конкретно, през лятото дебелината се променя от 95 – 125 m през 1993 г. до 45 – 55 m през 2018 г. в антициклоналната периферия и между 73 m и 38 m, съответно, във вътрешността на басейна. През есента СМС става още по-тънък: дебелината му намалява от 72 – 95 m през 1993 г. до 42 – 56 m през 2018 г. в периферията и съответно от 70 m до 27 m във вътрешността на басейна (фиг. 6).

Отбелязано е, че още от 1995 г. интензитетът на запълване на студения междинен слой намалява и според Belokorytov (2011) той е по-слаб от климатичната средна стойност. През 2003, 2004 и 2006 г. са установе-

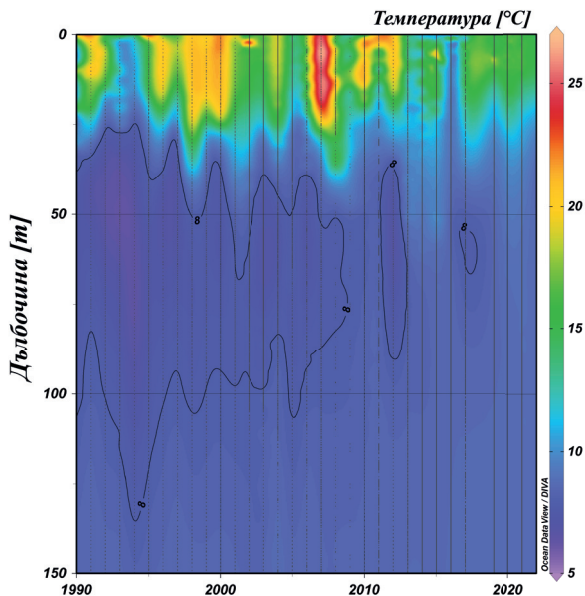
ни няколко изключения, които съответстват на средните климатични условия. След това, следвайки поредица от неособено студени зими, водещи до слаба вентилация на активния слой, СМС изчезва три пъти – през 2011 и 2015 – 2016 и 2020 – 2021 г.



**Фигура 6.** Междугодишни колебания на дебелината на студения междинен слой (А) и температурата в ядрото му (Б) за различни региони на Черно море, обозначени с цифри 1 – 5 през лятото

Въпреки това, намаляването на дебелината на слоя не е необратим процес, тъй като в резултат на зимното охлаждане и смесване през 2012 г. само за период от година СМС увеличава дебелината си и достига нивата от 2003 – 2006 г. Очевидно, наличието на много студени зими с последващо интензифициране на вертикалното и хоризонталното размесване води до задълбочаване на пикноклина и по-ефективно попълване на СМС. Така, през 2017 и 2018 г. се наблюдава възстановяване на слоя след намаляването на дебелината му през 2016 г. На фиг. 7 е представена обобщена времева редица на всички вертикални про-

фили за западната част на Черно море, независимо от конкретното им географско местоположение, от която ясно проличава тенденцията за намаляване на дебелината и изчезване на СМС през последните две десетилетия (Valcheva 2024).



**Фигура 7.** Графика Novmoller, илюстрираща междугодишните колебания на температурата във водния слой 0 – 150 m. Черният контур представя изотерма 8°C, определяща класическата граница на студения междинен слой

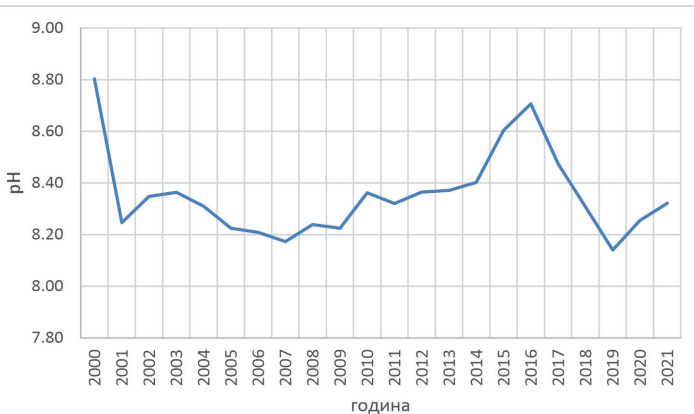
Заедно с намаляването на дебелината на СМС, температурата в ядрото му непрекъснато нараства от 6.3°C през 1993 г. до 8.2°C, наблюдаван през 2014 – 2016 г. Възстановяването на студения междинен слой през 2003, 2006 и 2012 г. е придружено от понижаване на температурата в ядрото до около 7°C, което е в съответствие със стойностите в края на 90-те години на XX век. Максималното охлаждане с 1.13°C се наблюдава през 2012 г.

### **Изменение на рН и кислородната наситеност**

От друга страна, стойностите на рН показват големи колебания в изследваните станции. Крайбрежното подкисляване обикновено по-

казва по-висока честота на изменения и краткосрочни епизодични събития в сравнение с подкисляването на открития океан (Borges and Gypens 2010; Waldbusser and Salisbury 2014; Sutton et al. 2016). Липсата на корелация между алкалност и соленост води до извода, че киселинността на водата се влияе в по-голяма степен от други химични и биологични процеси, а не само от температурата. рН и рСО<sub>2</sub> са силно регулирани от биогеохимични дейности в крайбрежната среда (Gazeau et al. 2011). Анализираните данни от крайбрежната част показват слаби тенденции на намаляване на рН.

Средногодишният тренд на целия ред рН във Варненския залив показва тенденция на намаление със стъпка от 0.0004 на година, като спадът до 2009 г. е с 0.05 единици, а след 2009 г. намалението е от порядъка на 0.006 на година. Средногодишният тренд на целия ред в станцията, разположена в канала Варненски залив – езеро, показва тенденция на нарастване със стъпка от 0.001. Сегментната регресия, приложена към този ред, показва намаление до 2009 г. и липса на тенденция след тази година. Оценката на двата сегмента чрез линейна регресия показва намаление до 2009 с 0.05 единици, а след 2009 г. – слабо намаление с 0.006 на година (фиг. 8). Останалите станции, анализирани след 2012 г., също имат слабо изразена тенденция на намаляване на рН.

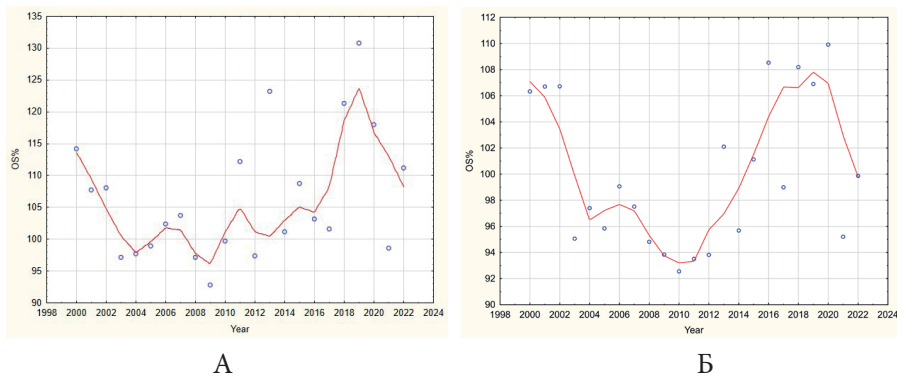


**Фигура 8.** Средногодишни изменения на рН за периода 2000 – 2022 г. във Варненския залив



Кислородната наситеност в езерото се повишава през последните години, вероятно свързана с повишена първична продукция, докато в залива тя остава приблизително на едно ниво през 2000-те години.

Анализът на данните от дългогодишния мониторинг предполага, че разпределението на кислород в района на Варненския залив е в резултат повече на процесите еутрофикация и първична продукция, надделяващи над процесите затопляне и подкиселяване. Биогеохимичните промени, свързани с еутрофикацията, могат да маскират пониженията на рН, предизвикани от CO<sub>2</sub> в атмосферата (фиг. 9).

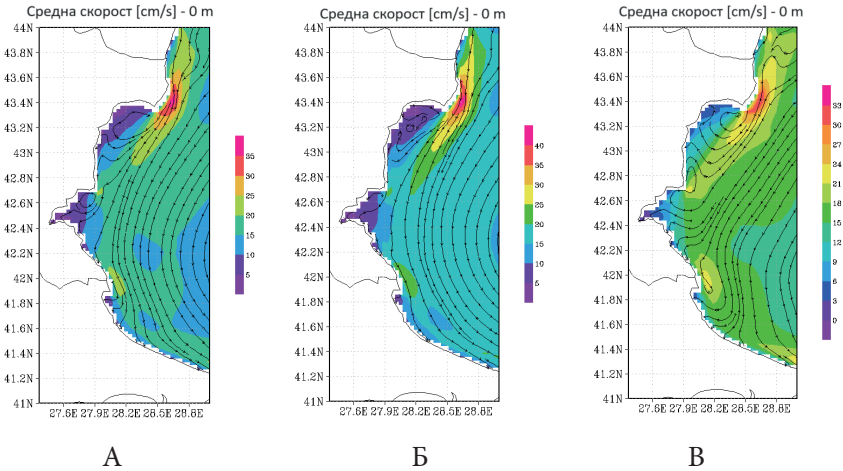


**Фигура 9.** Средногодишни изменения на кислородната наситеност за периода 2000 – 2022 г. в системата канал – езеро – залив (А) и във Варненския залив (Б)

### ***Течения в близост до българския бряг на Черно море от числени симулации за периода 1993 – 2019 г.***

Открояват се няколко особености на циркулацията край българския бряг. Максимални средногодишни скорости за означения период са получени при нос Калиакра, като техните стойности са от порядъка на 35 cm/s. През зимния сезон стойностите се увеличават до 40 cm/s, докато през летния скоростта на течението отслабва. Това е валидно и за другите райони в западната част в близост до българския бряг. Друг район с високи скорости е покрай южната част на българския бряг, като това е особено изразено на по-дълбоките хоризонти 20 и 50 m. Добре изразен през цялата година е и западният клон на ОЧТ със средни стойности на скоростта около 20 cm/s. Открояват се и известните от литературата за-

вихряния в Бургаския и Варненския залив, като вихърът при Бургаския залив е много по-добре изразен. Тези антициклонални вихри се наблюдават по-добре през летния сезон. В дълбочина през летния сезон се наблюдава отслабване на ОЧТ и формиране на обратна циркулация в посока от юг към север в близост до брега (фиг. 10 и 11).



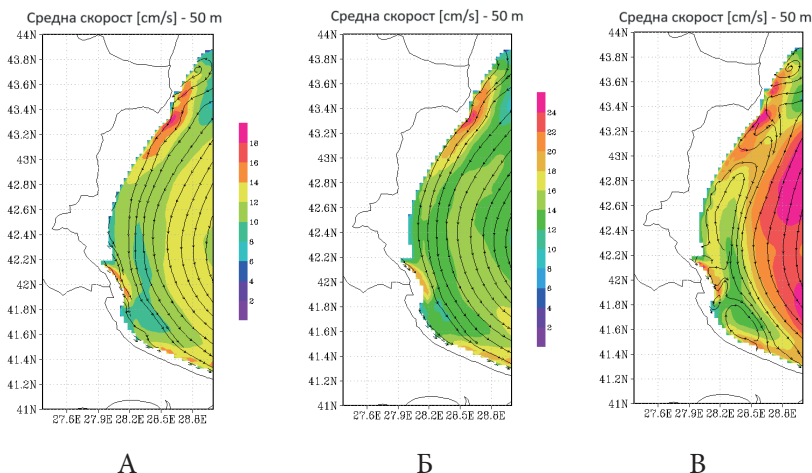
**Фигура 10.** Карта на средните скорости на повърхността в близост до българския бряг за периода 1993 – 2019 г. А) средногодишни стойности; Б) средни за зимния сезон (януари – март) и В) средни за летния сезон (юли – септември)

От българското крайбрежие към вътрешността на Черно море наблюдаваме увеличаване на повърхностните течения при отдалечаване от брега, максимални стойности на средногодишните скорости при общото кръгово течение и отново намаляване на скоростта в района на западния циклоничен пръстен.

Важна характеристика на теченията е не само тяхната скорост, но и посоката. За да се визуализира преобладаващата посока, е конструирана роза на процентното съотношение от различните географски посоки.

Взети са предвид почти 10 000 дневни стойности в течение на 27-годишния период; следователно постигнатото разпределение по честота от различните посоки е достоверно. В по-южните точки преобладава западната компонента, като с увеличаването на географската ширина започва да преобладава северната и североизточната компонента. Ха-

рактерно е, че през зимния сезон има по-изразена доминираща компонента и розата е по-събрана, докато през летния сезон има по-голяма повтораемост на различни посоки. На дълбочина 50 m разликите в розите през летния сезон са по-съществени, отколкото през зимния.

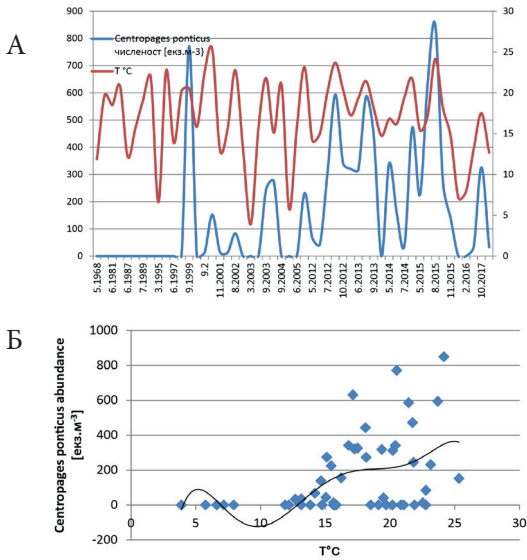


**Фигура 11.** Карта на средните скорости на 50 m дълбочина в близост до българския бряг за периода 1993 – 2019 г. А) средногодишни стойности; Б) средни за зимния сезон (януари-март) и В) средни за летния сезон (юли-септември)

### **Отговор на климатичните изменения на зоопланктоните съобщества**

Както беше посочено, изменението на повърхностната температура в Черно море се влияе от комбинация от океански и атмосферни процеси и показва значителни регионални и сезонни колебания. Периодът от ранните 1960 г. до 1980 г. се определя като значителната топла фаза за последното столетие и е доминиран от устойчиви положителни зимни повърхностни температурни аномалии, следвани от най-суровите зимни условия в периода 1980 – 1995 г. (Oguz et al. 2006; Kazmin et al. 2010, Miladinova et al. 2016). Така, средната зимна температура се повишава с  $0.21^{\circ}\text{C}$  за десетилетие, а средногодишната повърхностна температура – с  $0.33^{\circ}\text{C}$  за десетилетие (Miladinova et al. 2016). В резултат на това е открита положителна тенденция в развитието на вида *S. ponticus*,

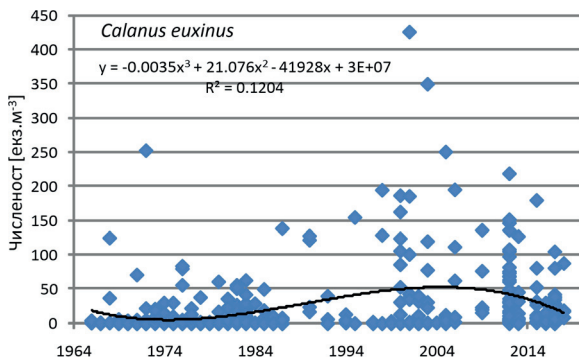
характеризиращ се с толерантност към високи температури, която корелира с колебанията на температурата (фиг. 12).



**Фигура 12.** Корелация между времевите серии на температура и числеността на *C. ponticus* в периода 1968 – 2018 г. (А) и тенденция в развитието на вида (Б)

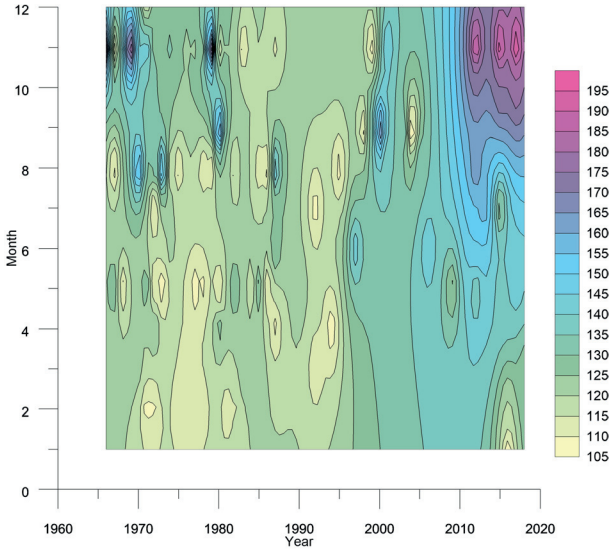
Друг важен елемент, отразяващ климатични сигнали, е формирането на студения междинен слой (СМС). Еволюцията на слоя през последните три десетилетия е проучена подробно, тъй като е изключително важна за вентилацията на долната част на активния слой, съдържащ кислород. Затоплянето на морските повърхностни води намалява скоростта на образуване на СМС и намалява дълбочината му. Установено е, че за периода от 1982 до 2015 г. минималната лятна температура в слоя се увеличава с 0.1 и 0.3°C за десетилетие (Miladinova et al. 2016), а дълбочината на СМС претърпява сезонни и междугодишни изменения с явна тенденция на намаляване (Valcheva et al. 2020). Видът *C. euxinus* през деня се придържа към зоната на кислородния минимум в долния край на СМС, а през нощта осъществява миграции, преодолявайки зоните на СМС и термоклина (Mutlu 2003). Нашите изследвания показват, че изменението в характеристиките или изчезването на СМС предполага

както изместване на местообитанието на вида в дълбочина, така намаляване на обилието му (фиг. 13).



Фигура 13. Тенденция в развитието на вида *C. euxinus* в периода 1968 – 2018

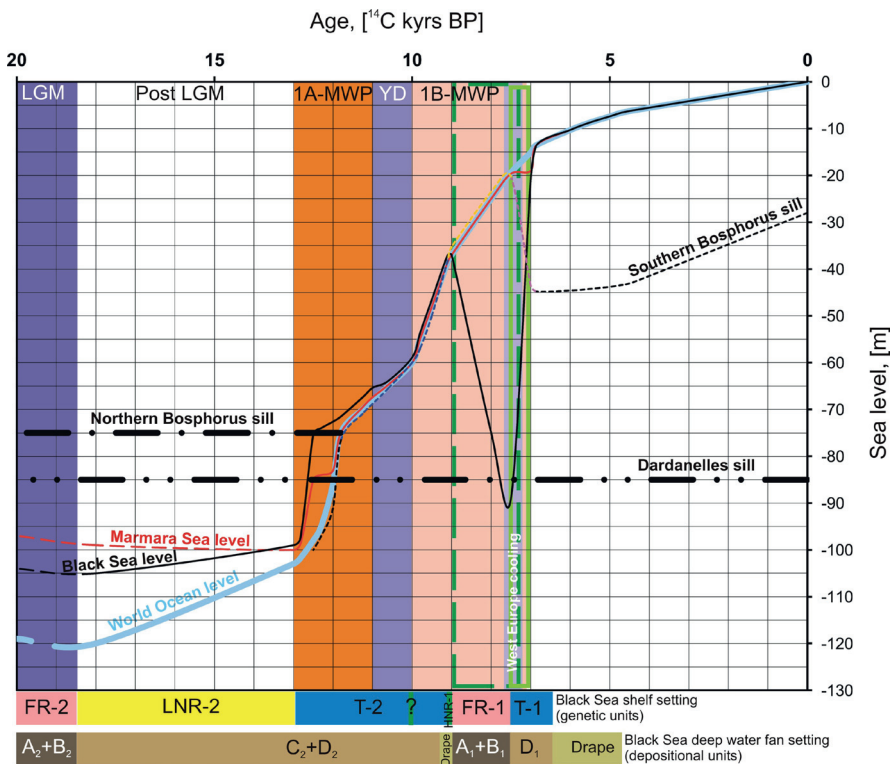
Всъщност ще бъде засегнат процесът на „диапауза“, характерен за *Calanus*, при което жизнените функции се снижават силно. По време на диапаузата животните избягват гладуването чрез забавяне на метаболизма и натрупване на липиден резерв. С повишаване на температурите се очаква да се съкрати максималната потенциална продължителност на диапаузата чрез намаляване размера на тялото и масните включения и чрез увеличаване на скоростта на метаболизма (Mars 2014). Въздействието на затоплянето може да се компенсира чрез диапауза в по-дълбоки води, което наблюдаваме и в нашите изследвания за периода след 2010 г. (фиг. 14). Така, *C. euxinus* може да бъде определен не само за отличен индикатор за промени в климата, но и за ключов вид с икономическо значение поради важноста му като основен хранителен ресурс за зоопланктоноядните риби (*Sprattus sprattus*, *Engraulis encrasicolus*). Това ще промени фенологията на зоопланктона, ще повлияе на по-високите трофични нива и ще наруши биологичните въглеродни помпи. Тъй като затоплянето на дълбоките води изостава от това на повърхността, животните може да компенсират въздействието на затоплянето чрез диапауза в по-дълбоки води. Въпреки това способността да се контролира диапаузата, може да бъде ограничена.



**Фигура 14.** Разпространение на вида *S. euhinus* в дълбочина в периода 1967 – 2018. В периода 2010 – 2018 г. е установено разпространение на вида до максимална дълбочина 180 m

### ***Изменение на черноморското ниво през последните 20 000 години***

По отношение на изменението на черноморското ниво през последните 20 000 години, е направена реконструкция на палеоекологичните промени в Черно море и утвърждаване на кривата на черноморското ниво по литературни данни чрез използването на кривата за солеността на повърхностните води, изведена от изследвани проби от ядка GGC18 (Huang et al. 2021), както и въз основа на нови сеизмостратиграфски и петрографски изследвания. Основният резултат е актуализирана крива на изменение на черноморското ниво в разглеждания период (фиг. 15). За максималната дълбочина на местообитание на *Mytilus galoprovincialis* се приема 80 m под съвременното морско ниво, което се потвърждава от новите изследвания. Използвайки средната крива на повърхностната соленост и датировките на миди от рифовите проби, е установено, че заселването на *Ostrea edulis* в Черно море е станало при ~16 psu повърхностна соленост на водата преди ~5000 14C години.

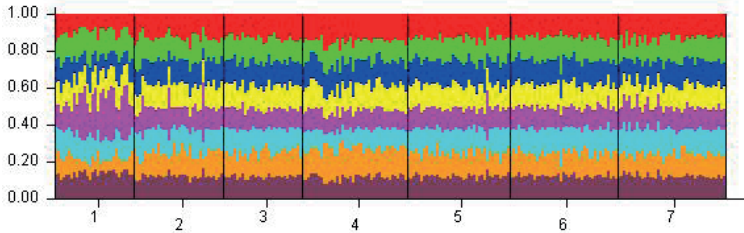


**Фигура 15.** Ниво на Черно море, климатични събития, сеизмични единици, образуване на оризоподобен и иглест арагонит (Genov et al. 2020): ниво на Световния океан (Средиземно море) (Feirbanks 1990) – плътна небесно синя линия; увеличение на прага на Южния Босфор в резултат на сблъскващи се течения – прекъснатата черна линия; увеличение на прага на Южния Босфор в условия на естуар – пунктирната тъмносиня линия; увеличаване на прага на Южния Босфор под влияние на вълновата активност – прекъснатата жълта линия; ерозия на прага на Южен Босфор – прекъснатата светлиолетова линия; образуване на оризоподобен арагонит – пунктирната тъмнозелена линия; образуване на иглест арагонит – светлозелена линия; последен ледников максимум (LGM); Younger Drays (YD); импулс на стопена вода (MWP).  
Генетичните единици са показани на фиг. 1



**Оценка на въздействието на рибарството върху генетичното разнообразие на популациите на калкана (*S. maximus*) пред българския бряг**

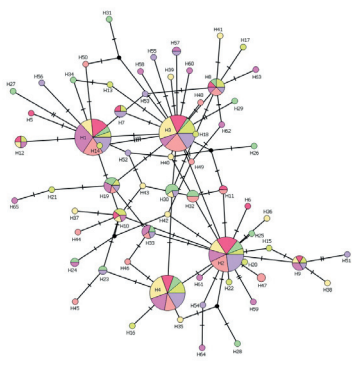
Анализът на микросателитните и митохондриалните маркери показва близки генетични връзки между изследваните популации. Липсва ясно изразено популационно-генетично структуриране поради малките географски разстояния и високия генен поток между тях (фиг. 16).



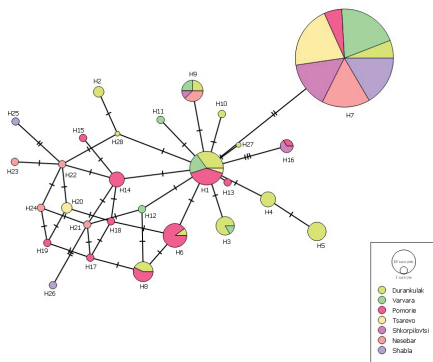
**Фигура 16.** Популационната структура на *S. maximus* на база на програмата STRUCTURE за  $K = 8$  за 255 индивида. Черните линии отделят популациите от местата на пробонабиране

При изследваните популации се наблюдават високо ниво на генетично разнообразие и липса на инбридинг. Установени са общо 65 CR и 28 COIII хаплогена (фиг. 17). Във всички изследвани популации  $M$ -ratio съотношението, изчислено за анализирания микросателитни маркери, има стойности, по-ниски от 0.68, което показва скорошно намаляване размера на популацията поради прекомерен улов. Установеното ниско ниво на нуклеотидно разнообразие в COIII гена на митохондриалната ДНК, наблюдавано във всички изследвани популации на калкан по българското черноморско крайбрежие, вероятно се дължи на намаляване на популацията, причинено от силно селективен риболовен натиск, насочен към местата на размножаване и нарастване на вида (30 до 50 – 60 m дълбочини).

А



Б



**Фигура 17.** Хаплотипна мрежа, TCS анализа по CR маркера (А) и по COIII маркера (Б). Размерът на кръговете представя честотата на срещане на всеки хаплотип

Принадлежността на всички изследвани екземпляри към вида *S. maximus* беше потвърдена както от генетичните, така и от морфологичните анализи. Резултатите от проведените морфометрични анализи показват наличие на полов диморфизъм с ясно изразен по-висок процент на женските екземпляри в популациите от Поморие и Дуранкулак (фиг. 18). По-големият брой по-едри женски индивиди би могъл да се разглежда като адаптивен механизъм на вида в следствие от риболвния натиск.

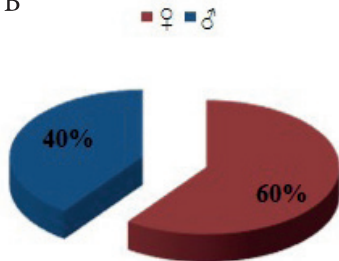
**Полова структура на пробите от Поморие**

А



**Полова структура на пробите от Дуранкулак**

Б

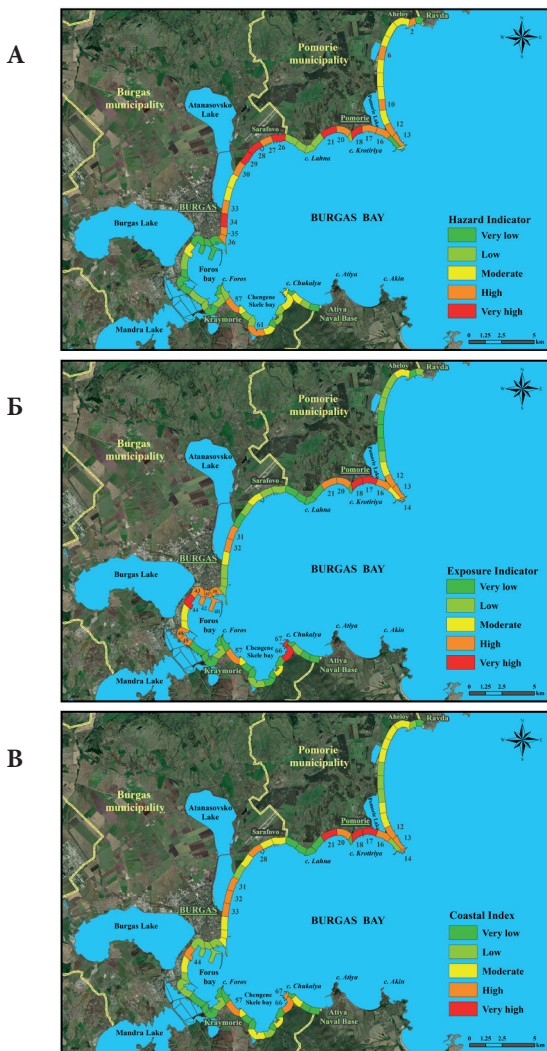


**Фигура 18.** Разпределение по пол ( $\sigma^7$ : $\rho$ ) за изследваните екземпляри на пробите от района на А) Поморие и Б) Дуранкулак

## Получени приложни резултати

Във връзка с оценката на крайбрежния риск от екстремни хидрометеорологични събития, индикаторът за заплахата от наводнения интегрира интензитета на заплахата и съответните обхвати на наводненията (наводнени площи), съответстващи на период на повторемост 50 години. Оценката показва, че най-уязвимите към заплахата от наводнения крайбрежни райони са концентрирани в два основни клъстера (фиг. 19). Първият е разположен по крайбрежието на Поморийския полуостров, като обхваща градските плажове, части от защитеното от дамба крайбрежие в южната част на гр. Поморие и крайбрежието на запад от нос Кротирия. Вторият клъстер включва плажовете и прилежащите крайбрежни зони от кв. „Сарафово“ до северната част на Бургас. Останалите застрашени територии са разпръснати по протежение на района на изследване, включително плажовете, разположени покрай Ахелой, кв. „Крайморие“ и Поморийската пясъчна коса, а един е част от защитената местност Ченгене скеле. Оценката на относителната експозиция на различните категории рецептори: земеползване, население, транспорт, комунални услуги и бизнес, обединени в Общ индикатор за експозиция, показва, че тя се контролира основно от различните типове бизнеси и вида земеползване и в по-малка степен от транспорта и комуналните услуги, разположени по цялото крайбрежие на Поморие, южните му околности и в най-вътрешния Бургаски залив.

Крайният продукт от тези два индикатора – Бреговият индекс – позволи да се идентифицират горещите точки, както и тяхното групиране по протежение на изследвания крайбрежен участък. Резултатът от оценката на индекса показва, че горещите точки са разпределени в крайбрежните рекреационни и жилищни зони, където БИ се определя в еднаква степен от заплахата от наводнения и изложеността на рецепторите, както и в пристанищните, промишлените и търговските зони с повишена експозиция по отношение на присъствието на бизнеса и засегнатото земеползване. В по-широк мащаб горещите точки са пространствено концентрирани по крайбрежните участъци на целия град Поморие и най-вътрешния Бургаски залив. По този начин гореспоманатите крайбрежни зони по протежение на Бургаска област се считат за най-уязвими и застрашени от крайбрежни наводнения.



**Фигура 19.** Визуализация на резултатите за индикатора за заплаха от наводнения (А), общия индикатор за експозиция на крайбрежните рецептори (Б) и бреговия индекс (В) за крайбрежието на общините Бургас и Поморие и за период на повторяемост 50 г.

Според наличните карти на риска от наводнения за дефинирани-те райони със значителен потенциален риск от наводнения по регио-

налното крайбрежие на Бургас за периода 2016 – 2021 г. и 2022 – 2027 г. крайбрежието от Равда до най-вътрешния Бургаски залив е изложено на най-висока степен на риск от наводнения, предизвикани от морски бури. По този начин методологията за оценка на риска, приложена в настоящото изследване, демонстрира много добра способност за определяне на крайбрежните участъци, уязвими на опасност от наводнения, и същевременно дава по-подробна оценка на нивото на бреговия риск в регионален мащаб.

Получените резултати по отношение на ихтиологичното биоразнообразие имат принос към създаването на база данни за генетичното разнообразие на калкана пред българския бряг на Черно море. Установяването и сравняването на генетичните вариации във и между популациите на един и същи вид е от значение за управлението и опазването му, тъй като то определя колко популации трябва да бъдат експлоатирани. Регистрираните от нас ниски нива на генетично структуриране и респективно висок генен поток предполагат, че калканът вероятно представлява един запас пред българския сектор на Черно море и следователно изисква координирано законодателство и управление.

Прилагането на интегриран подход (генетичен и морфологичен) за изследване на популациите на *S. maximus* по българското Черноморие осигурява по-точна оценка на популационната структура на вида и ще улесни откриването на вероятни промени в генофондовете на дивите популации в пряка връзка с ефективното им управление.

### **Съдействие на държавни и общински органи, стопански субекти, НПО и пр.**

Предвид констатациите за въздействието на риболовния натиск върху генетичното разнообразие на *S. maximus* и пространствената цялост на запасите, стратегиите за управление на запасите трябва да се съсредоточат върху разработването на интегриран екосистемен подход за управление на риболова, като се има предвид неговото въздействие и върху други бентосни видове, както и пространственото разпределение на запасите от калкан, динамиката на популацията и целостта на местообитанията.

Във връзка с устойчивата експлоатация на запасите от калкан и намаляване на негативния ефект на рибарството върху генетичното

разнообразие е необходимо включване на генетичния мониторинг, като част от провежданата ежегодно на национално ниво оценка на запаса на вида по Националната програма за събиране на данни в сектор „Рибарство“ с оглед проследяване на промените в генетичната структура и съевременно прилагане на адекватни мерки за опазване на запаса.

### **Разпространение и популяризация на резултатите**

Общ брой статии: 23

#### **Най-важни статии:**

- Andreeva, N., Eftimova, P., Valchev, N., Prodanov, B., Lambev, T., Dimitrov, L. (2022). 'Identification of coastal flooding hotspots in a large bay using an index-based risk assessment approach' in Kacprzyk, J. (ed.) *Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, Electronic, pp. 51 – 65.
- Dimitrov, O.V., Vacheva, K.Z., Korzhenkov, A.M., Kouzov, Chr., Larkov, A.S., Ovsuchenko, A.N., Rogozhin, E.A., Rangelov, B.K., Strelnokov, A.A. (2022). 'Seismic Deformation in the Archaeological Sites of Varna, Bulgaria', *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, vol. 58, no. 1, pp. 127 – 147. doi:10.1134/S1069351322010013
- Dzhembekova, N., Rubino, F., Belmonte, M., Zlateva, I., Slabakova, N., Ivanova, P., Slabakova, V., Nagai, S., Moncheva, S. (2022). 'Distribution of Different *Scrippsiella acuminata* (*Dinophyta*) Cyst Morphotypes in Surface Sediments of the Black Sea: A Basin Scale Approach', *Front. Mar. Sci*, vol. 9, p. 864214.
- Genov, I., Vasilev, A., Botoucharov, N. (2021). 'Unification of the seismostratigraphic subdivisions as a precondition to clarifying the recent history of the Black Sea (at the example of its southwesternmost part)', *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, vol. 74, no. 9, pp. 1354 – 1362. doi:10.7546/CRABS.2021.09.11.
- Genov, I., Slavova, K., Nonova, T., Koleva-Rekalova, E. (2020). 'Black Sea Holocene Environmental Setting in Respect of *Ostrea Edulis* Appearance and Loss', Proc. of 1st Int. Conf. on Environmental Protection and Disaster RISKS, pp. 491–500. <https://doi.org/10.48365/envr-2020.1.44>.
- Genov, I., Slavova, K., Koleva-Rekalova, E., Dogan, T. (2024). 'Events and data concerning the Black Sea evolution after the last glacial peak: A comment', *Geologica Balcanica*, vol. 53, no. 2, pp. 11 – 28. doi:10.52321/GeolBalc.53.2.11.

- Gubanova, A., Goubanova, K., Krivenko, O., Stefanova, K., Garbazey, O., Belokopytov, V., Liashko, T., Stefanova, E. (2022), 'Response of the Black Sea Zooplankton to the Marine Heat Wave 2010: Case of the Sevastopol Bay', *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, 1933. <https://doi.org/10.3390/jmse10121933>.
- Ivanova, P., Dzhembekova, N., Atanassov, I., Rusanov, K., Raykov, V., Zlateva, I., Yankova, M., Raev, Y., Nikolov, G. (2021). 'Genetic diversity and morphological characterisation of three turbot (*Scophthalmus maximus* L., 1758) populations along the Bulgarian Black Sea coast', *Nature Conservation*, vol. 43, pp. 123–146. <https://natureconservation.pensoft.net/article/64195>.
- Ivanova, P., Zlateva, I., Raykov, V., Yankova, M., Dzhembekova, N., Raev, Y., Slabakova, V. (2024). 'Comparative Analysis of morphometric and meristic characters of *Scophthalmus maximus* L., sampled in four different sites along the Bulgarian Black Sea coast', *Acta zoologica bulgarica*, Suppl. 18, pp. 41 – 49. [https://www.acta-zoologica-bulgarica.eu/2024/Suppl\\_18\\_03](https://www.acta-zoologica-bulgarica.eu/2024/Suppl_18_03).
- Klayn, S., Berov, D., Karamfilov, V. (2021). 'Porewater Nutrient and Oxygen Profiles and Sediment-Water Interface Fluxes Under Extreme Organic Loading in Different Sedimentary Habitats in Sozopol Bay (SW Black Sea): A Laboratory Experiment' in: Dobrinkova, N., Gadzhev, G. (eds) *Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, Electronic, pp. 371 – 382.
- Korzhenkov, M., Minchev, A., Tenekedjiev, V., Ovsyuchenko, A. N., Dimitrov, O., Larkov, A. S., Rogozhin, E. A., Ranguelov, B., Strelnikov, A. A. (2021). 'Seismic Deformations in an Early Christian Monastery in the Area of Djanavara, Varna, Bulgaria. Part 1: Study Methods', *Seismic Instruments*, vol. 57, no. 3, pp. 343 – 359.
- Minchev, A., Korzhenkov, M., Ovsyuchenko, A. N., Dimitrov, O. V., Larkov, A. S., Ranguelov, B. K., Rogozhin, E. A., Andreeva, N. V. (2021). 'Deformations in the Episcopal Basilica in Varna: Evidences of Strong Historical Earthquakes in Northwestern Bulgaria', *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, vol. 56, pp. 1202 – 1217. <https://doi.org/10.1134/S0001433820100072>.
- Raykov, V., Hubenova, St., Ivanova, P., Kotsev, I., Zaykov, A., Ivanova, A. (2021). 'Allocated Zones For Sturgeon Mariculture In Bulgarian Black Sea Waters', *J. of Env. Protection and Ecology*, vol. 21, no. 6, pp. 2110 – 2120.
- Valcheva, N. (2024). 'Black Sea thermohaline stratification: particularity and recent changes', Proc. of XXIV SGEM GeoConference, Albena, Bulgaria (in print).



- Valcheva, N., Slabakova, V. (2020). 'Winter and Summer Variability and Trends of Modis Derived Sea Surface Temperatures for the Western Black Sea', Proc. of 1st Int. Conf. on Environmental Protection and disaster RISKS – Part One, Az-buki National Publishing House, pp. 8 – 20.
- Zlateva, I., Ivanova, P., Dzhebekova, N., Doncheva, V., Popov, I., Slabakova, V., Raev, Y., Raykov, V., Dimitrov, D. (2023). 'Spatial Distribution and Genetic Diversity of Turbot (*Scophthalmus maximus*, Linnaeus, 1758) in Bulgarian Black Sea waters relative to fishing pressure and their abiotic environment', *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, 1982. <https://doi.org/10.3390/jmse11101982>

### Използвана литература

- Andreeva, N.K., Kiresiewa, Z.K., Valchev, N.N., Eftimova, P.T. (2021). 'Cultural Insights into Coastal Risks and Climate Change Resilience of a Society 'in Transition' in Martinez, G. (ed.) *Culture and Climate Resilience*, Palgrave Studies in Climate Resilient Societies Book series, Palgrave Macmillan, Cham., pp. 15 – 43. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58403-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58403-0_3).
- Barnes, S.L. (1964). 'A technique for maximizing details in numerical weather-map analysis', *J. of Applied Meteorology*, vol. 3, no. 4, pp. 396 – 409.
- Belokopytov, V. (2011). 'Interannual variations of the renewal of waters of the cold intermediate layer in the black sea for the last decades', *Physical Oceanography*, vol. 20, pp. 347 – 355.
- Borges, A.V., Gypens, N. (2010). 'Carbonate chemistry in the coastal zone responds more strongly to eutrophication than ocean acidification. *Limnology and Oceanography*', vol. 55, no. 1, pp. 346 – 353.
- Catuneanu, O. (2017). 'Sequence Stratigraphy: Guidelines for a Standard Methodology', *Stratigraphy & Timescales*, vol. 2, pp. 1 – 57. <https://doi.org/10.1016/bs.sats.2017.07.003>.
- Fairbanks, R. (1990). 'The age and origin of the 'Younger Dryas climate event' in Greenland ice cores', *Paleoceanography*, vol. 5, no. 6, pp. 937 – 948. doi:10.1029/PA005i006p00937.
- Galabov, V., Chervenkov, H. (2018). 'Study of the Western Black Sea storms with a focus on the storms caused by cyclones of North African origin', *Pure Applied Geophysics*, vol. 175, pp. 3779 – 3799. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1844-7>.

- Gazeau, F., Martin, S., Hansson, L., Gattuso, J.P. (2011). 'Ocean acidification in the coastal ocean Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone', INPRINT, vol. 3, pp. 5 – 14.
- Genov, I. (2020). Comment on 'Holocene sedimentation in the southwestern Black Sea: Interplay between riverine supply, coastal eddies of the Rim Current, surface and internal waves, and saline underflow through the Strait of Bosphorus' by Ankindinova, O., Aksu, A. E., Hiscott, R. N. [Marine Geology, 420 (2020) 106092], *Review of the Bulgarian geological society*, vol. 81, no. 2, pp. 41 – 52.
- Genov, I., Slavova, K., Nonova, T., Koleva-Rekalova, E. (2020). 'Black Sea Holocene Environmental Setting in Respect of *Ostrea Edulis* Appearance and Loss', Proc. of 1st Int. Conf. on Environmental Protection and Disaster RISKS, pp. 491 – 500, <https://doi.org/10.48365/envr-2020.1.44>.
- Hays, G.C., Richardson, A.J., Robinson, C. (2005). 'Climate change and plankton', *Trends in Ecology and Evolution*, 20, pp. 337 – 344.
- Huang, Y., Zheng, Y., Heng, P., Giosan, L., Coolen, M.J.L. (2021). 'Black Sea paleosalinity evolution since the last deglaciation reconstructed from alkenone-inferred Isochrysidales diversity', *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 564, 116881. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.116881>.
- Ivanov, L.I., Backhaus, J.O., Özsoy, E., Wehde, H. (2001). 'Convection in the Black Sea during cold winters', *Journal of Marine Systems*, vol. 31, pp. 65 – 76.
- Ivanov, L.I., Besiktepe, S.T., Özsoy, E. (1997). 'Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea, The Black Sea cold intermediate layer', *Kluwer Academic Publisher*, pp. 253 – 264.
- Ivanova, P., Dzhembekova, N., Atanassov, I., Rusanov, K., Raykov, V., Zlateva, I., Yankova, M., Raev, Y., Nikolov, G. (2021). 'Genetic diversity and morphological characterisation of three turbot (*Scophthalmus maximus* L., 1758) populations along the Bulgarian Black Sea coast', *Nature Conservation*, vol. 43, pp. 123 – 146. <https://natureconservation.pensoft.net/article/64195>.
- Jang, C.J., Park, J., Park, T., Yoo, S. (2011). 'Response of the ocean mixed layer depth to global warming and its impact on primary production: a case for the North Pacific Ocean', *ICES Journal of Marine Science*, pp. 996 – 1007.
- Kazmin, A., Zatsepin, A., Kontoyiannis, H. (2010). 'Comparative analysis of the long-term variability of winter surface temperature in the Black and

- Aegean Seas during 1982 – 2004 associated with the large-scale atmospheric forcing, *Int. J. of Climatology*, vol. 30, pp. 1349 – 1359
- Kolla, V. (2007). ‘A review of sinuous channel avulsion patterns in some major deep-sea fans and factors controlling them’, *Marine and Petroleum Geology*, vol. 24, pp. 450 – 469.
- Korotaev, G., Oguz, T., Nikiforov, A., Koblinsky, C. (2003). ‘Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data’, *J. Geophys. Res.*, vol. 108, no. C4, 3122. doi: 10.1029/2002JC001508.
- Kubryakov, A.A., Stanichny, S.V. (2015). ‘Seasonal and interannual variability of the Black Sea eddies and its dependence on characteristics of the large-scale circulation’, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 97, no. 8, pp. 80 – 91.
- Lima, L., Masina, S., Ciliberti, S. A., Peneva, E. L., Cretí, S., Stefanizzi, L., Lecci, R., Palermo, F., Coppini, G., Pinardi, N., & Palazov, A. (2020). Black Sea Physical Reanalysis (CMEMS BS-Currents) (Version 1) [Data set]. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS). [https://doi.org/10.25423/CMCC/BLKSEA\\_REANALYSIS\\_PHYS\\_007\\_004](https://doi.org/10.25423/CMCC/BLKSEA_REANALYSIS_PHYS_007_004)
- Maps, F. (2014). ‘A Metabolic Approach to Dormancy in Pelagic Copepods Helps Explaining Inter- and Intra-Specific Variability in Life-History Strategies’, *J. Plankton Res.*, vol. 36, pp. 18 – 30. doi: 10.1093/plankt/fbt100.
- Mauchline, J. (1998). ‘The biology of calanoid copepods’, *Advances in Marine Biology*, vol. 33, 710 p.
- Miall, A.D. (1995). ‘Whither stratigraphy?’, *Sedimentary Geology*, vol. 100, pp. 5 – 20.
- Miladinova, S., Stips, A., Garcia-Gorriz, E., Macias, M. D. (2016). ‘Changes in the Black Sea physical properties and their effect on the ecosystem’, EUR 28060 EN; doi:10.2788/757417
- Mutlu, E. (2003). ‘Acoustical identification of the concentration layer of a copepod species, *Calanus euxinus*’, *Marine Biology*, vol. 142, pp. 517 – 523. doi:10.1007/s00227-002-0986-3
- Oguz, T., Dippner, J.W., Kaymaz, Z. (2006). ‘Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales’, *J. Mar. Syst.*, vol. 60, no. 3 – 4, pp. 235 – 254. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.11.011.

- Oguz, T., Ducklow, H.W., Malanotte-Rizzoli, P. (2000). 'Modeling distinct vertical biogeo-chemical structure of the Black Sea: Dynamical coupling of the oxic, suboxic, and anoxic layer', *Global Biogeochem. Cycles*, vol. 14, pp. 1331 – 1352.
- Oguz, T., Besiktepe, S. (1999). 'Observations on the Rim Current structure, CIW formation and transport in the Western Black Sea', *Deep Sea Research, Part I: Oceanographic Research Papers*, vol. 46, no. 10, pp. 733 – 1753.
- Pazini, K.C., Bonetti, J., da Silva, P.G., Klein, A.H.F. (2022). 'Spotting areas critical to storm waves and surge impacts on coasts with data scarcity: a case study in Santa Catarina, Brazil' *Natural Hazards*, vol. 112, pp. 2493 – 2521. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05275-1>.
- Stanev, E., Rachev, N. (1999). 'Numerical study on the planetary Rossby modes in the Black Sea', *J. of Mar. Syst.*, vol. 21, pp. 283 – 306.
- Stanev, E.V., Bowman, M.J., Peneva, E.L., Staneva, J.V. (2003). 'Control of Black Sea intermediate water mass formation by dynamics and topography: Comparison of numerical simulations, surveys and satellite data', *J. of Mar. Res.*, vol. 61, pp. 59 – 99.
- Staneva, J.V., Dietrich, D.E., Stanev, E.V., Bowman, M.J. (2001). 'Rim current and coastal eddy mechanisms in an eddy-resolving Black Sea general circulation model', *J. of Mar. Syst.*, vol. 31, no. 1 – 3, pp. 137 – 157.
- Sutton, A.J., Sabine, C.L., Feely, R.A., Cai, W.J., Cronin, M.F., McPhaden, M.J., Morell, J.M., Newton, J.A., Noh, J.H., Ólafsdóttir, S.R., Salisbury, J.E. (2016). 'Using present-day observations to detect when anthropogenic change forces surface ocean carbonate chemistry outside preindustrial bounds' *Biogeosciences*, vol. 13, no. 17, pp. 5065 – 5083. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-13-5065-2016>.
- Taylor, A. H., Allen, J. I., Clark, P. A. (2002). 'Extraction of a weak climatic signal by an ecosystem', *Nature*, vol. 416, pp. 629 – 632.
- Valcheva, N. (2018). 'Interannual variability of the mixed layer summer sea water temperature in the western Black Sea', *Proc. of 14th Int. Conf. on Marine Sciences and Technologies*, Varna, Bulgaria, pp. 204 – 210.
- Valcheva, N., Valchev, N. (2014). 'An evaluation of temperature and depth accuracy of Sippican T-6 and T-10 Expendable bathythermographs (XBT) in the western Black Sea', *Proc. of 12th Int. Conf. on Marine Sciences and Technologies – Black Sea'2014*, Varna, Bulgaria, pp. 183 – 188.

- Valcheva, N., Slabakova, V. (2020). 'Winter and Summer Variability and Trends of Modis Derived Sea Surface Temperatures for the Western Black Sea', Proc. of 1st Int. Conf. on Environmental Protection and disaster RISKS – Part One, Az-buki National Publishing House, pp. 8 – 20.
- Valcheva, N., Marinova, V., Peneva, E., Lima, L., Celiberti, S., Masina, S. (2020). 'Spatio-temporal variability of the Black Sea Cold Intermediate Layer properties derived from in situ data', Journal of Operational Oceanography, vol. 13, no. 1, pp. 33 – 41. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2020.1785097>.
- Van Dongeren, A., Ciavola, P., Martinez, G., Viavattene, Ch., Bogaard, T., Ferreira, O., Higgins, R., McCall, R. (2018). 'Introduction to RISC-KIT: Resilience-increasing strategies for coasts', *Coastal Engineering*, vol. 134, pp. 2 – 9. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.10.007>.
- Viavattene, C., Jiménez, J.A., Ferreira, O., Priest, S., Owen, D., McCall, R. (2018). 'Selecting coastal hotspots to storm impacts at the regional scale: a Coastal Risk Assessment Framework', *Coastal Engineering*, vol. 134, pp. 33 – 47. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.09.002>.
- Vousdoukas, M. I., Voukouvalas, E., Annunziato, A., Giardino, A., Feyen, L. (2016). 'Projections of extreme storm surge levels along Europe', *Climate Dynamics*, vol. 47, no. 9, pp. 3171 – 3190. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3019-5>.
- Waldbusser, G.G., Salisbury, J.E. (2014). 'Ocean acidification in the coastal zone from an organism's perspective: multiple system parameters, frequency domains, and habitats', *Annual review of marine science*, vol. 6, no. 1, pp. 221 – 247.
- Zatsepin, A.G., Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Kremenetskiy, V.V., Stanichny, S.V., Poulain, P. (2003). 'Observation of Black Sea mesoscale eddies and associated horizontal mixing', *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 108, no. C8, pp. 1 – 27.
- Zlateva, I., Ivanova, P., Dzhembekova, N., Doncheva, V., Popov, I., Slabakova, V., Raev, Y., Raykov, V., Dimitrov, D. (2023). 'Spatial Distribution and Genetic Diversity of Turbot (*Scophthalmus maximus*, Linnaeus, 1758) in Bulgarian Black Sea waters relative to fishing pressure and their abiotic environment', *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, 1982. <https://doi.org/10.3390/jmse11101982>.

## КАЧЕСТВОТО НА ЖИВОТ В СТРАНАТА

**Доц. Ренета Димитрова**

*Софийски университет „Св. Климент Охридски“*

**проф. Димитър Тонев**

*Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика –*

*Българска академия на науките,*

**доц. Таня Драйшу**

*Институт по електроника – Българска академия на науките,*

**доц. Илияна Найденова**

*Технически университет – София*

### **Основни цели и задачи, обекти на изследване**

Основните цели на проведените изследвания са разработването и прилагането на съвременни методики и техники към налични архивни и новосъбрани данни за установяване на сложните взаимовръзки между параметрите и характеристиките на приземната атмосфера върху качеството на живот и здравния риск върху населението в страната. Темата е широкообхватна и има различни аспекти, които се покриват от конкретни задачи, свързани със събирането на необходимия обем и качество на данни от локални (in-situ) и дистанционни лидарни измервания и демографска/здравна информация, анализирането и използването им за получаване на значими и научно обосновани изводи за взаимовръзката между отделните компоненти, използване на числено моделиране за допълване на липсващите данни и създаването на краен продукт (софтуер), който да е в полза на обществото.

Различните обекти на изследване са както градският микроклимат и потенциалните рискове от изменението на глобалния климат върху качеството на живот на хората (усещането за комфорт/дискомфорт), така и всички аспекти, свързани с влиянието на околната среда върху човешкото здраве – замърсяването на въздуха, биологическата ултравиолетова (УВ) радиация, радиационното замърсяване в приземния атмосферен слой. Особено податливи към климатичните про-

мени и влиянието на околната среда са градските райони, където има голямо струпване на хора и дейности, което, от своя страна, води до по-голяма концентрация на емисии и замърсители във въздуха, както и до по-голям стрес за човешкия организъм.

Качеството на атмосферния въздух (КАВ) се подрежда на 2-ро място по значимост сред рисковите фактори за преждевременна смъртност в световен мащаб (8.1 млн.) през 2021 г. То се свързва както с остри неблагоприятни ефекти върху здравето (например по-висок риск от хоспитализация при лица с хронични заболявания в дни с влошено КАВ), така и с хронични ефекти върху здравето, дори и при ниски нива на експозиция (HEI, 2024). Изменението на климата в глобален мащаб усилва негативното въздействие върху качеството на живот, особено в градската среда, в различни аспекти, сред които затоплянето, наводненията от поройни валежи и покачването на морското ниво в крайбрежните градове (IPCC, 2021) и неслучайно е част от Националната стратегия за адаптация към изменението на климата и Плана за действие, който да обхваща периода до 2030 г. (МОСВ, 2019).

Поради изброените по-горе причини изследванията бяха съсредоточени върху избрани пилотни градове в страната – София, Пловдив и Варна. Мотивация за направения избор беше, от една страна, най-високият ръст на населението в тези градове, които се различават като климат и топография, от друга страна, районите се характеризират с висока обща и по определени нозологии заболяемост/смъртност, както и с постоянни проблеми, свързани с КАВ през последното десетилетие.

Всичко описано по-горе доказва значимостта на поставените цели и задачи и ползата за обществото от проведените изследвания, направените изводи и разработените методики и софтуерни продукти.

### **Изследователски методи**

В проведените дейности и изследвания са използвани иновативни методи и най-добри практики, признати от международната научна общност. Използвани са числено моделиране с най-съвременните модели, лабораторни експерименти, статистически модели и анализи, измервания на параметрите на въздушната среда – метеорологични и за качеството на въздуха от локални (in-situ) и дистанционни лидарни и спътникови измервания.



Численото моделиране е научен метод, позволяващ получаването на детайлна картина в пространството и времето за параметрите на въздушната среда на базата на числени алгоритми за решаване на основни типове физически и математически задачи. За решаването на поставените задачи са необходими три различни типа модели – мезо-метеорологичният модел за прогноза на термохидродинамиката в атмосферата и моделът за изчисляване на емисиите в конкретната област са препроцесори за химичния транспортен модел, като предоставят необходимата входна информация. За получаване на характеристиките на градската среда са приложени най-широко използваните в международен мащаб регионални модели с фина хоризонтална резолюция 1 км и доказани качества:

- Weather Research and Forecasting model (WRF) е съвременна система за моделиране на термохидродинамиката в атмосферата, проектирана за широк спектър от приложения (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>);

- The Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) е система за обработка на емисии, разработена да създава часови стойности, разделени по замърсители в избрана мрежа за изчисление, които да се ползват като входни данни в различни модели за качеството на въздуха (<https://www.cmascenter.org/smoke/>). Трябва да се има предвид, че е възможно използването само на отделни модули от нея поради разликата между Selected Nomenclature for Air Pollution (SNAP) категориите в Съединените американски щати (където е разработен моделът) и Европейския съюз (ЕС), което наложи разработването на собствени кодове за обработка на емисиите;

- Community Multiscale Air Quality (CMAQ) modeling system (<https://www.epa.gov/cmaq/cmaq-models-0>) е химичен транспортен модел за моделиране концентрацията на газове и частици във въздуха и отлагането на тези замърсители на повърхността на Земята.

Изброените числени модели са използвани за създаването на специфичен софтуерен продукт – Система за прогноза на химическото време, която работи в оперативен режим и е съставена от три компоненти: качеството на атмосферния въздух (полета на концентрацията на различните замърсители), избраните биоклиматични индекси (свързани с усещането ни за комфорт/дискомфорт) и за индекса за качеството

на въздуха, за които се издават и предупреждения за населението.

В допълнение за оценка на локалното градско замърсяване е използван и моделът ADMS-Urban (CERC; <https://www.cerc.co.uk/environmental-software/ADMS-Urban-model.html>) за първи път приложен в България за оценка приноса на различни типове източници в София.

За изчисляване индексите на комфорт/дискомфорт за страната и за оценка и анализ на топлинните вълни са ползвани данни за миналия и проектиран бъдещ климат, генерирани от регионалния климатичен модел RegCM (<https://github.com/ICTP/RegCM>) по дейностите, проведени в работен пакет I.1.

Използвани са различни стандартни статистически методи, както и специфични качествени и количествени методи. Анализ на главните компоненти (Principal component analysis) е използван за оценка на основните фактори (главни компоненти, ГК), които контролират КАВ, определяне на зависимости между замърсители и метеорологични параметри, както и тенденциите и сезонния характер на ГК. Отрицателен биномиален регресионен модел е използван за изучаване на краткосрочните ефекти от замърсяването на въздуха върху риска от прием в болница на пациенти с хронични заболявания. На базата на статистически методи и анализи е изведена емпирична зависимост и е разработен и въведен в оперативен режим усъвършенстван модел за прогнозиране стойностите на индекса на УВ радиация и изчисляване на безопасното време на облъчване при съответния индекс.

Проведени са лабораторни и числени експерименти, позволяващи определянето на основни химикокинетични и топлохимични параметри, характеризиращи състава и свойствата на твърди биогорива (ТБГ)/биомаса (относително съдържание на влага, пепел, летливи органични съединения и кокс; елементен, силикатен, калориметричен и термичен анализ на ТБГ/биомаса и др.); условия за тяхното оползотворяване (напр. скорост на превръщане на въглерода и азота от състава на горивото в съответната реакционна среда), както и качествен и количествен анализ на състава на димните газове (Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-ray Spectroscopy – SEM/EDS; X-Ray флуоресцентната спектроскопия; електронния парамагнитен резонанс и др.).

Оптимизирани и адаптирани за конкретните условия са радиохимични и инструментални ядренофизични методи за анализ на естестве-

ни и техногенни гамаизлъчващи радионуклиди в проби от въздушнопреносими аерозоли, както и за анализ на валежи в градска среда (София) и в Базова екологична обсерватория „Мусала“ (БЕО „Мусала“) – станция за ранно оповестяване на трансграничен пренос на замърсители. Тези изследвания и екологичен мониторинг на радиационната обстановка в приземния атмосферен слой са уникални за страната.

Усъвършенствани и разработени са нови технологии за провеждане на хоризонтални лидарни изследвания на аерозолните замърсявания над обширни градски и извънградски зони и определяне на съответната аерозолна масовата концентрация чрез калибриране на лидарите въз основа на данните от локални (in-situ) измервания. Лидарите (LIDAR – Light Detection And Ranging) са уникална оптикоелектронна апаратура за дистанционен контрол на околната среда, която се характеризира с много добра време-пространствена разделителна способност и висока чувствителност към атмосферния аерозол. Лидарните методи позволяват получаване на систематизирана информация за плътността, разпределението и динамиката на аерозолите, включително фини прахови частици (ФПЧ), и очертаване на зоните с повишена аерозолна концентрация, дължаща се на потенциални източници на замърсявания. Изследванията са направени в единствената специализирана у нас научна лаборатория, провеждаща систематични сертифицирани лидарни изследвания на атмосферните процеси.

Проведени са редица специализирани кампании за набиране на допълнителни данни и използването им в последващи анализи. Прилагането на описаните методи и добри практики доведе до уникални по своята значимост резултати поради многослойния характер и мултидисциплинарност на разгледаните научни проблеми. Получените резултати са най-вече с научно-приложна стойност директно приложими за решаването на обществено-значимите проблеми, свързани с качеството на живот и човешкото здраве и превенцията на потенциални рискове от изменението на глобалния климат.

### **Дейности по програмата**

С цел изпълнение на поставените цели и задачи са проведени редица научноизследователски дейности, свързани с огромно количество

вложен труд от колектив учени (40 в началото на програмата, с малки промени, наложили се в хода на работата) от 5 организации, три института на Българската академия на науките (БАН) – Националният институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ), Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) и Института по електроника (ИЕ), два университета – Софийския университет (СУ) „Св. Кл. Охридски“, и Техническият университет (ТУ) – София, както и Националният център по обществено здраве и анализи (НЦОЗА).

Една от първите много важни задачи е изграждането на надеждна и изчерпателна база данни за нуждите на провежданите изследвания. Поставените цели и задачи изискват различни по тип данни, необходими като вход за съответните изследвания, както и за оценка и установяване валидността на подходите и средствата за моделиране, затова пълната съвместимост на данни и модели е от изключително значение за успешно провеждане на изследванията.

Изградена беше уникална база данни от съществуващи и новополучени измервания, единствена по рода си като всеобхватност, съдържаща информация за метеорологични параметри и КАВ, данни за заболяемост и демографски характеристики, характеристики на твърди биогорива и др. Тя беше получена според предварително дефинирани критерии за достъпност, качество и пригодност на данните към изследванията.

Осъществени бяха контакти с официални доставчици и получени архивни данни за внушителен период 2009 до 2018 г., като някои от данните (за КАВ) бяха допълнени до 2022 г. за основните приземни замърсители – ФПЧ с диаметър по-малък от 2.5 мкм (ФПЧ2.5) и по-малък от 10 мкм (ФПЧ10), азотен диоксид (NO<sub>2</sub>), серен диоксид (SO<sub>2</sub>), въглероден оксид (CO) и озон (O<sub>3</sub>). За първи път в страната е получена и анализирана по метода на времеви серии информация за здравния статус на населението за десетгодишен период в трите най-големи населени места. След анализ на огромната по количество и разнообразна по показатели налична база данни за заболяванията в страната е изготвен списък с демографски и здравни показатели, дефинирани като основа за събиране на информация от Националната здравноосигурителна каса (НЗОК) и регионалните здравни инспекции в страната (РЗИ, общо 28 на брой). Определен е набор от здравни индикатори, които съобразно

актуални научни доказателства са относими към рисковите фактори и подходящи за разкриване на връзка между здравния статус на населението и замърсяването на градската въздушна среда. Получена е информация за 10-годишен период (2009 – 2018 г.) за избраните здравни индикатори (заболяемост по определени класове болести съобразно МКБ10) от НЗОК и съответните подразделения в градовете София, Пловдив и Варна, а също информация за заболяемостта на населението по общини от РЗИ в цялата страна за 5 годишен период (2015 г. – 2018 г.). Получената информация е използвана за идентифициране на свързаните със замърсяването на въздуха общественозначими заболявания и последващо изследване за анализ на здравния статус на населението с цел разкриване на връзките му с градската въздушна среда.

Освен данни от локални (in-situ) и дистанционни спътникови и лидарни измервания е създаден огромен архив от резултати от числени симулации за периода 2009 – 2022 г. както за метеорологичните параметри и КАВ, така и за избрани количествени характеристики (индикатори) – индекси за комфорт/дискомфорт при въздействието на околната среда, като са оценени различни прилагани в световната практика индекси (Heat Index и Wind Chill Index, Predicted Mean Vote, Physiological Equivalent Temperature, Universal Thermal Climate Index) и индекс за определяне качеството на въздуха (Air Quality Index, AQI) чрез прилагане на различни методики.

Основната база данни е изградена и се съхранява на сървър на СУ „Св. Кл. Охридски“ (<http://npaq.phys.uni-sofia.bg>) и е достъпна за всички участници в работния пакет. Тъй като изходните резултати от числените симулации са огромни като обем и могат да се ползват от ограничен брой потребители на моделите, те се съхраняват на външни дискови устройства и на сървъра на НИГГГ – БАН, и могат да бъдат предоставени при поискване.

Изградени са допълнително и пет специфични бази данни. Създадена и непрекъснато обновявана и допълвана е база данни, съдържаща подходящо визуализирани резултати от анализ и обработка на експериментални данни от лидарни измервания на аерозолния товар над София. Базата данни е от отворен тип и позволява широк достъп на потребителите до получаваните резултати. Тя се намира на сайта на лаборатория „Лазерна локация“ на ИЕ – БАН (<http://www.ie-bas.org/>

Departments/LidarData\_Horizont/Quicklooks-Horizont.htm). След проведени полеви експерименти бе направена оценка на качеството на въздуха в затворени помещения и топлинния комфорт в българско учебно заведение в София и събраните данни са налични при поискване. Също така налични са данни от проведените лабораторни експерименти за ключови гориво-технически и химически характеристики на ТБГ/биомаса, налични на българския пазар, за които към настоящия момент не е установена подробна информация в достъпни източници на научна литература. Тази база данни съдържа също уникални резултати от количествено измерване на ФПЧ и съдържа плътност на разпределение на частиците по размер, техни физични и химични характеристики, както и на основни газообразни вещества в състава на димни газове, получени в процеса на оползотворяване на ТБГ/биомаса. Данните от лабораторните експерименти са налични в ТУ – София, при поискване. Създадена е база данни от измерванията с апаратура за мониторинг на биологически активната УВ радиация (във форма на непрекъснати времеви редове) в три различни обсерватории в София (НИГГ – БАН) от 2007 г. досега; в Геофизична обсерватория „Витоша“ за 2007 г. и на територията на Черноморската база на Института по океанология в Шкорпиловци за 2007 и 2008 г. Измерените стойности на УВ радиация за текущия ден са общодостъпни в графичен вид и обновяването им всеки час е автоматично на страницата: [http://www.geophys.bas.bg/uv\\_index/uv\\_index\\_bg.php](http://www.geophys.bas.bg/uv_index/uv_index_bg.php). Пряк достъп до архивните данни не е предвиден. Изграден е архив от данни от непрекъснатия мониторинг на гама-фона на връх Мусала и в 7 точки на територията на ИЯИЯЕ – БАН, и изследователския реактор. Пряк достъп до архивните данни не е предвиден, но данните са налични при поискване.

Много от поставените задачи изискваха огромни компютърни ресурси. Проведени са мултимасщабни симулации (за 5 различни области) за получаване на ансамбъл от 14-годишен период (2009 – 2022 г.) с два различни модела, за получаване на мезометеорологичните полета (изходи от модела WRF) и полета на концентрациите на огромен брой замърсители (142) от химичния транспортен модел (изходи от CMAQ). Изходите от моделите при проведените симулации за целия период са приблизително, както следва: от WRF е около 65TB, от CMAQ и съответните емисионни и входни файлове около 69TB, или общо

използваното дисково пространство е 134ТВ.

Симулациите с WRF са проведени на 2 нода (по 32 процесора), или 64 ядра, на суперкомпютъра „Нестум“ (<https://hpc-lab.sofiatech.bg/>), разположен в „София Тех Парк“, създаден и поддържан от екип учени от Физическия факултет на СУ „Кл. Охридски“. Необходимото компютърно време е около 48 часа за постигане на резултати за 1 месец симулации, или около 8064 часа непрекъснати симулации за получените резултати за 14-годишен период.

За получаване на резултатите за полетата на замърсяване са използвани 3 нода (по 24 процесора), или 72 ядра, на суперкомпютъра „Авитохол“, разположен и поддържан от лаборатории за разработка на приложения и обработка на входно-изходни данни към Института по информационни и комуникационни технологии към БАН ([http://ict.acad.bg/?page\\_id=1229](http://ict.acad.bg/?page_id=1229)). Необходимото компютърно време е около 90 часа за постигане на резултати за 1 месец, или около 15 120 часа работа в непрекъснат режим за целия период.

Очевидно е прилагането на най-съвременни технологии и методи при използването на български суперкомпютри за получаването на огромното количество резултати от симулации с числени модели и създаването на уникален архив от данни.

### **Получени резултати**

Получените резултати имат най-вече приложен характер и позволяват директното им прилагане в практиката за постигане на по-добро качество на живот във всичките му аспекти.

### ***Анализ на здравния статус на населението с цел разкриване на връзките му с градската въздушна среда***

Една от основните задачи е свързана с оценка на степента на уязвимост на населението към замърсяването в околния въздух. Диференцирането на високо чувствителни групи позволява да се вземат ранни решения за управление на риска и превенция на здравния риск в резултат на експозиция на замърсители. Човешкият организъм реагира по различен начин на неблагоприятни въздействия и правилното дефиниране на раними групи е процес, свързан със задълбочен анализ на



всички фактори, които имат отношение върху критерии, относими към индивида – пол, възраст, заболявания, както и критерии на заобикалящата среда, които имат отношение към замърсяването на градската среда, а именно – местоживеене, климатични характеристики (температура и влажност на околната среда, валежи и др.).

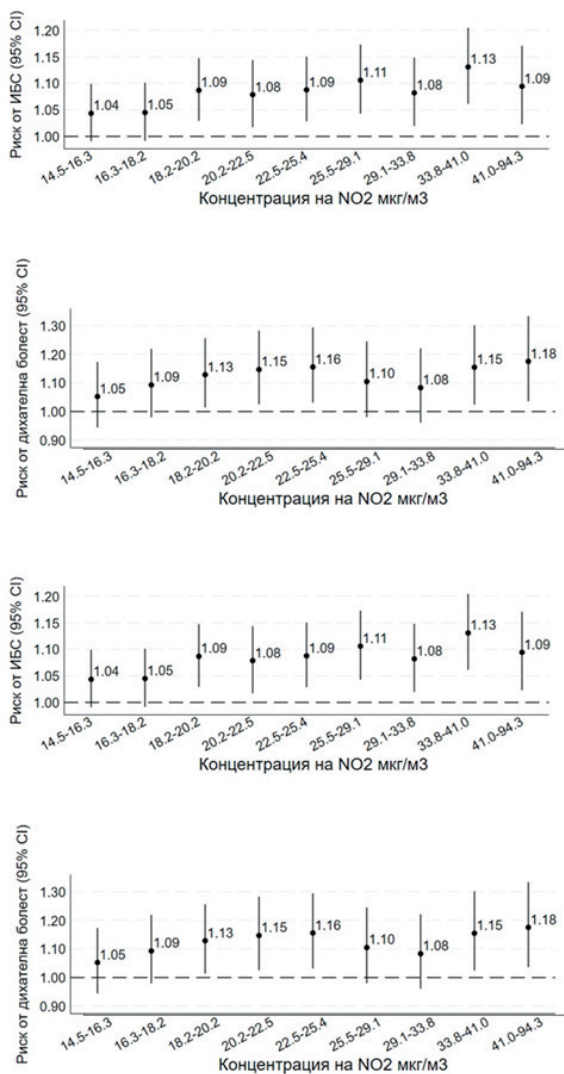
Направен е анализ на времевите серии за избрани класове по МКБ-10 кодове (общо 12 различни категории от болести на органите на кръвообращението, на дихателната система и на ендокринната система, разстройства на храненето и обмяната на веществата) за градовете София, Пловдив и Варна. Резултатите показват тенденция за нарастване броя на заболелите и в трите града за хипертонична и мозъчносъдова болест, остри инфекции на горните дихателни пътища, болести на белия дроб, причинени от външни агенти, дихателна недостатъчност, неклафицирани другаде хронични болести на долните дихателни пътища (с изключение за Варна, където се отчита слабо понижение). Разпределението по пол и сезони е доста разнородно, но отчетливо е разделението по възрастови групи. Повечето болести на органите на кръвообращението, хроничните болести на дихателната система и неинсулинозависим захарен диабет са типични за възрастовите групи над 15 години, като за мозъчносъдова болест ясно се откроява групата над 65-годишна възраст. Острите инфекции на горните дихателни пътища, пневмонии (без грип), други остри респираторни инфекции на долните дихателни пътища и други болести на горните дихателни пътища са типични за групата 0 до 14 години.

Обработените дневни данни за 10-годишен период, получени от НЗОК, бяха използвани за установяване на връзката между замърсяването в градска среда и заболявания, определени като обществено значими на база данните за дневната заболеваемост (хоспитализации), а именно респираторни заболявания, исхемична болест на сърцето (ИБС), инсулт и захарен диабет. Изследвани бяха краткосрочните ефекти от замърсяването на въздуха върху пациенти с посочените заболявания, постъпили в болница поради обостряне на симптомите. Използвани са средноденонощни концентрации на основните замърсители във въздуха (ФПЧ2.5, ФПЧ10, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO и O<sub>3</sub>) за периода от 1 януари 2009 г. до 31 декември 2018 г., измерени в градски фонови станции от Националната система за мониторинг на околната среда (НСМОС) на

Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС) към Министерството на околната среда и водите (МОСВ), намиращи се в градовете София, Пловдив и Варна. Асоциациите между компонентите са анализирани с помощта на отрицателен биномиален регресионен модел при замърсяване на въздуха, изоставащо с 0 – 7 дни, както също е изследвано дали съществуват прагове в концентрациите на замърсителите, над които рискът за прием в болница в същия ден нараства значимо. Получени са значими резултати за връзка между замърсяването и заболявания за определени възрастови групи. Анализите показват, че се наблюдава повишен риск за прием в болница поради усложняване на хронични дихателни и кардио-метаболитни заболявания след излагането на замърсен въздух. Този ефект в повечето случаи е отложен и настъпва със закъснение от няколко дни до седмица.

Съществуват известни възрастови и полови различия в наблюдаваните ефекти. Например по отношение на астматичните пристъпи в детска възраст (0 – 4 години) в София нарастване от 10 мкг/м<sup>3</sup> на концентрацията на NO<sub>2</sub> във въздуха, който дишаме, е свързано с повишаване на риска с до 6 %, при SO<sub>2</sub> опасността се покачва съответно с до 13 %, а при ФПЧ<sub>2.5</sub> – с до 3 %. Приблизително 6 % от хоспитализациите при деца на възраст 5 – 14 години могат да се свържат с остро повишаване на средноденонощните концентрации на ФПЧ<sub>2.5</sub> ≥ 15 мкг/м<sup>3</sup> и NO<sub>2</sub> ≥ 25 мкг/м<sup>3</sup>. По отношение на риска от ИБС, инсулт и в по-малка степен от диабет, за всеки 10 мкг/м<sup>3</sup> нарастване в концентрацията на някои замърсители рискът от хоспитализация се повишава с около 1 – 2 %, в някои случаи до 5 %, при мъже или жени от различни възрастова групи.

Резултатите за Пловдив показват, че всяко повишаване на концентрацията с 10 мкг/м<sup>3</sup> за ФПЧ<sub>10</sub> води до 2 % по-висок риск от хоспитализация поради респираторни заболявания след 2 дни, а за всеки добавени 10 мкг/м<sup>3</sup> към концентрацията на NO<sub>2</sub> рискът се повишава с 4 % на същия ден. При NO<sub>2</sub> се наблюдава ясен линеен тренд, като рискът достига до 18 % в най-високите нива на концентрацията за респираторните заболявания, 13 % за ИБС, 11 % за инсулт и 19 % при диабет (фиг. 1).



**Фигура 1.** Риск от прием на пациенти в болница в Пловдив за различните разгледани заболявания, във връзка с повишаване концентрацията с 10 мкг/м3 на атмосферния замърсител NO2 с отложен ефект до седмица

За Варна коефициентите са с по-широки интервали на доверителност поради много липсващи стойности в данните за замърсителите. Въпреки това се установи 13 % повишен риск за прием в болница поради респираторни заболявания след 1 ден при 10 мкг/м<sup>3</sup> повишаване концентрацията на SO<sub>2</sub>, 6 % за ИБС, 10 % за инсулт и 22 % за диабет с различно закъснение от 2 до 5 дни. Ако се отчита кумулативният ефект за цялата седмица или средната концентрация за цялата седмица, за всеки 1 мкг/м<sup>3</sup> повишаване на CO има повишен риск с 35 – 36 % за респираторните заболявания и 25 – 58 % при инсулт. Не се наблюдава така добре изразен тренд при повишаване на концентрацията на NO<sub>2</sub> като в Пловдив, но по-високите нива на концентрацията на този замърсител се свързват с повишаване на риска с 17 % за диабет и 10 % за ИБС. Повишените концентрации на ФПЧ10 увеличават риска с 14 % за инсулт и 7 % за ИБС.

Изследването е първо по рода си за краткосрочните ефекти на замърсяването на въздуха върху хоспитализациите специално за България, защото обхваща толкова дълъг период (десет години) и използва напреднали методи на статистическо моделиране. Въпреки че резултатите изискват предпазливо тълкуване (поради използването на концентрации на замърсителите, измерени в определена локация в рамките на града), те подчертават ясно потенциала на замърсяването на въздуха да предизвиква обостряне на състоянието на пациенти с респираторни и сърдечносъдови заболявания. Това проучване предлага ограничени знания (изследвани са само три града в страната – София, Пловдив и Варна) за изграждане на обща стратегия за обществено здраве, но представя цялостна научно обоснована методология за по-нататъшни изследвания, свързани с влиянието на факторите на околната среда върху здравето на населението в България. Продължаването на такъв вид проучвания ще доведе до изграждането на цялостна картина за проблемите със здравето на населението и набеязването на адекватни мерки за превенция.

### ***Оценка и анализ на влиянието на характеристиките на въздушната среда върху качеството на живот и човешкото здраве***

Получените с описаните модели резултати бяха използвани за осъществяване на редица задачи, свързани с оценка и анализ на влиянието

на характеристиките на въздушната среда върху качеството на живот и човешкото здраве. Определен е набор параметри на околната среда (като крупномасщабни метеорологични условия и емисии от различните видове човешка дейност), които оказват неблагоприятно вредно въздействие върху усещането ни за комфорт и здравословно състояние. Получени са оценки за количествените характеристики (индекси) на качеството на живот и риска за човешкото здраве за страната и за избраните пилотни градове София, Пловдив и Варна както за текущия климат (за изминал период), така и при набор сценарии за бъдещи климатични промени. Такова мащабно изследване е направено за първи път в България. Това проучване позволи избора на най-удачните за българските условия индекси, които са внедрени в разработения софтуер на Системата за прогноза на химическото време.

Разработената и внедрена Система за прогноза на химическото време (замърсяване на въздуха) е изградена на базата на описаните по-горе верифицирани модели (WRF, собствен емисионен модел, CMAQ). Тя работи в оперативен режим, като визуализира 72-часовата прогноза за замърсяването на въздуха в реално време, започвайки от 00:00 часа на текущия ден и продължаваща още два дни напред за територията на България с разделителна способност от 3 км и за трите избрани града – София, Пловдив и Варна, с разделителна способност от по 1 км (<http://www.geophys.bas.bg/cw3/index.php?pol=UTCI&dom=BG>). За всяка от изброените области може да се проследи еволюцията на концентрацията за всеки от основните замърсители (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, ФПЧ10, ФПЧ2.5), от които се изчислява и визуализира Индексът за качество на въздуха (AQI). Системата прави също прогноза и на Универсалния топлинен индекс (UTCI), показващ топлинния комфорт/дискомфорт на човешкото тяло.

Индексът за качество на въздуха (AQI) предоставя информация за прогнозираното състояние на качеството на въздуха, директно измерващ ефектите върху човешкото здраве въз основа на проведени изчисления за прогнозата на петте замърсителя. Всеки замърсител има прагови стойности (определени в мкг/м<sup>3</sup>) и според тях се определя частният индекс за качеството на въздуха (индексът, отговарящ на дадения замърсител). Общият индекс за качеството на въздуха е най-високото ниво на замърсяване, причинено от всеки от петте замърсителя.

По света се изчисляват различни индекси за качество на въздуха, като всяка държава сама определя кои замърсители предизвикват най-значими вредни ефекти на нейната територия. В нашата система е използван европейският AQI, който включва 5-те описани по-горе замърсителя. Представената таблица 1 показва нагледно и лесно за възприемане от широка публика потребители на здравните препоръки към населението и чувствителните групи от него за конкретния индекс. Към чувствителните групи са причислени деца с дихателни проблеми и възрастни със сърдечни заболявания. Здравните препоръки и референтните нива, използвани при образуването на тази таблица и скали, са свързани с директивите за граничните нива за опазване на човешкото здраве, определени от ЕС и/или от Световната здравна организация (СЗО).

AQ индекс	Общо население
Добро	Качеството на въздуха е добро. Насладете се на обичайните си дейности на открито.
Задоволително	Насладете се на обичайните си дейности на открито
Умерено	Насладете се на обичайните си дейности на открито
Лошо	Помислете за намаляване на интензивните дейности на открито, ако изпитвате симптоми като възпалени очи, кашлица или възпалено гърло
Много Лошо	Помислете за намаляване на интензивните дейности на открито, ако изпитвате симптоми като възпалени очи, кашлица или възпалено гърло
Изключително Лошо	Намалете физическите дейности на открито.

Чувствително население
Качеството на въздуха е добро. Насладете се на обичайните си дейности на открито.
Насладете се на обичайните си дейности на открито
Помислете за намаляване на интензивните дейности на открито, ако имате симптоми.
Помислете за намаляване на физическата активност, особено на открито, особено ако изпитвате симптоми.
Намалете физическата активност, особено на открито, особено ако имате симптоми.
Избягвайте физически дейности на открито.

Таблица 1. Индекс за качество на въздуха (AQI)

Универсалният топлинен индекс (UTCI) се определя от комбиниращия ефект на температурата на въздуха, влажността и скоростта на вятъра в околната среда, както и от слънчевото греене. Допълнително, в определянето на индекса участва и топлинното излъчване от околните тела. Той отразява усещането за топлинен комфорт при различни ме-

теорологични условия вследствие на физиологичните реакции на човека, свързани със системата за терморегулация на тялото. Числената му стойност е в температурни единици (градуси по Целзий) и е категоризирана в 10 класа според степента на топлинното натоварване при високи положителни и ниски отрицателни температури. Конкретните стойности са представени в таблица 2, цветно визуализирани за отделните класове и физиологични реакции.

Пример за дизайн на Система за прогноза на химическото време (<http://www.geophys.bas.bg/cw3/index.php?pol=UTCI&dom=BG>) с визуализация на универсалния топлинен индекс (UTCI) за района на София е показан на фиг. 2. Според прогнозата за 15 UTC на 4 юли 2024 г. UTCI е между 32 °C и 38 °C за по-голямата част от града, което отговаря на силно топлинно натоварване.

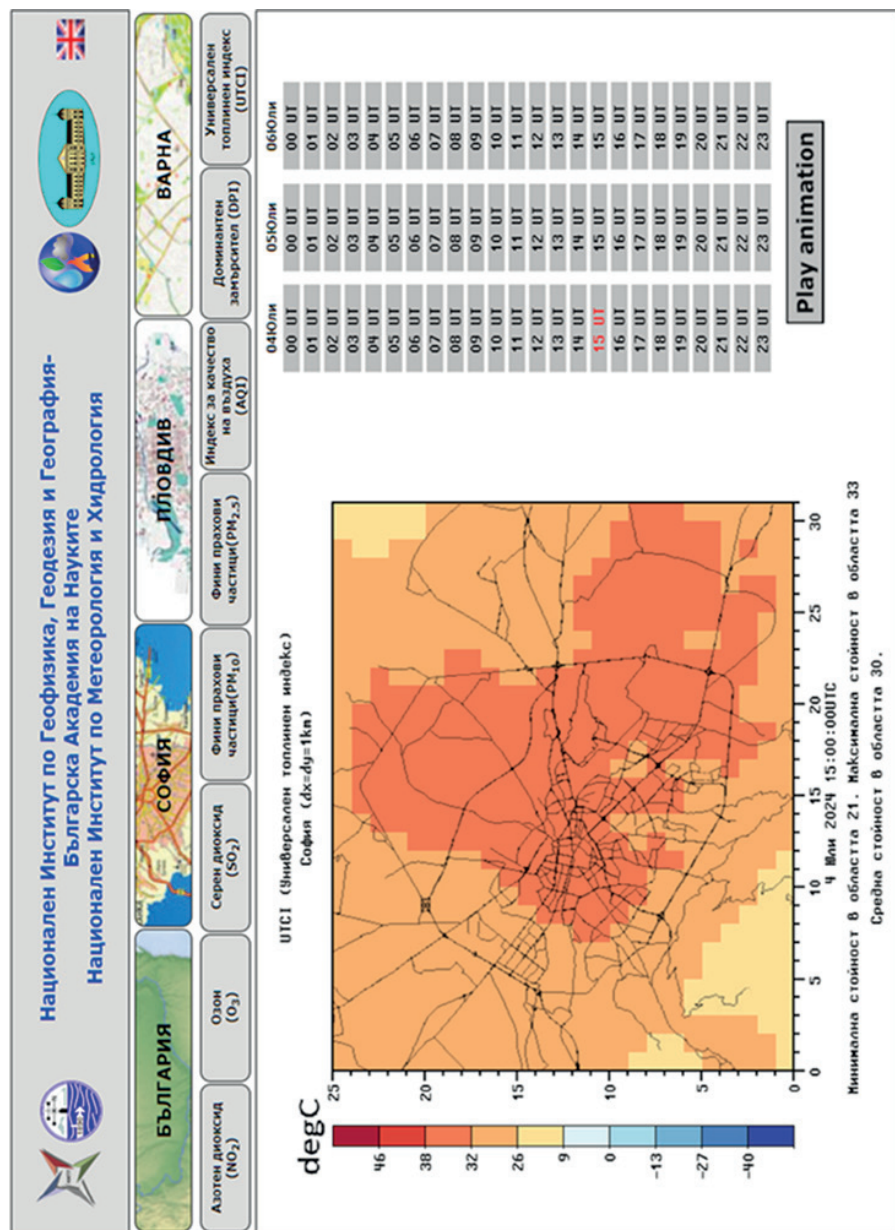
Получени са значими резултати за взаимовръзката между параметрите на околната среда и качеството на въздуха в градска среда. Посредством използването на анализа на главни компоненти (Principal component analysis, PCA) на базата на данни от НСМОС в градовете София, Пловдив и Варна са определени основните фактори (главни компоненти, ГК). Използвани са данни за основните замърсители (NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, ФПЧ10) и измерени метеорологични параметри – температура на въздуха (Temp), количество слънчева радиация (GSR), относителна влажност (RH) и скорост на вятъра (Wind).

Един пример за приноса на различните ГК, използвайки данни от четири автоматични измервателни станции (АИС) в София (измерванията покриват целия изследван период 2009 – 2018 г.), е показан в таблица 3. Направеното изследване разкрива три основни компонента, отговорни за качеството на градския въздух през целия използван период на измервания за всички станции, като тези 3 компонента обясняват над 80 % от вариацията в системата.



UTCI (°C)	Категория на топлинен стрес	Физиологични реакции
Над 46	Изключително силно топлинно натоварване	Рязко нарастване на телесната температура. Рязко намаляване на топлоотдаването. Рязко нарастване на потенето.
38 ÷ 46	Много силно топлинно натоварване	Телесната температура нараства в рамките на 30 минути
32 ÷ 38	Силно топлинно натоварване	Засилване на темпа на потене. Телесната температура нараства в рамките на 120 минути. Моментно нарастване на кожата температура
26 ÷ 32	Средно топлинно натоварване	Промяна на скоростта на потене, телесната средната кожна температура, както и тази на лицето и ръцете. Поява на потене в рамките на 30 минути. Рязко нарастване на мокротата на кожата
9 ÷ 26	Няма топлинно натоварване	Приблизително постоянна телесна температура.
9 ÷ 0	Леко охлаждащо натоварване	Спадане на температурата на ръцете. Препоръчва се използването на ръкавици.
0 ÷ -13	Средно мразово натоварване	Спадане на температурата на ръцете. Поява на спад в телесната температура. Болезнено спадане на температурата на лицето.
-13 ÷ -27	Силно мразово натоварване	Включаване на ръцете. Спадането на лицевата температура. Телесната температура намалява в рамките на 30 до 120 минути.
-27 ÷ -40	Много силно мразово натоварване	Поява на мускулно треперене. По-силно намаляване на телесната температура. Поява на включеност в рамките на 30 минути. Опасност от поява на повърхностно измръзване при спадане на лицевата температура.
Под -40	Изключително силно мразово натоварване	По-рязко спадане на телесната температура. Настъпване на повърхностно измръзване в рамките на 30 минути.

Таблица 2. Универсален топлинен индекс (UTCI)



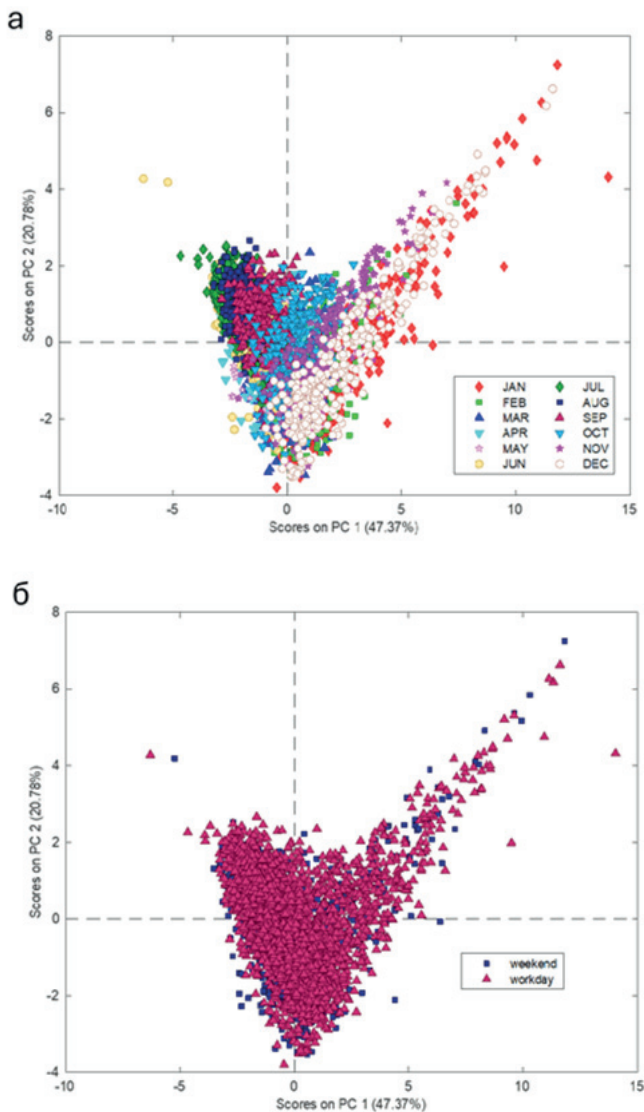
**Фигура 2.** Визуализация на уеб страницата на Системата за прогноза на химическото време, пример за полето на Универсалния топлинен индекс (UTCI) в гад София за 15 UTC на 4 юли 2024 г.

**Таблица 3.** Принос на различните ГК при използване на данни от 4 станции в София за периода 2009 – 2018 г.

Станция	ГК1	ГК2	ГК3	Обяснена дисперсия
Хиподрума	47.73%	20.78%	12.22%	80.36%
Павлово	52.19%	19.46%	13.21%	83.86%
Надежда	47.92%	21.02%	11.90%	80.84%
Дружба	50.62%	20.71%	10.99%	82.31%

Обобщените анализи за трите града показват, че ГК1 (обяснява между 45 и 51 % от вариацията на данните) описва повишените концентрации на първичния замърсители през зимата и повишени нива на озон през лятото. Заедно с изразената сезонност, факторните резултати на ГК1 разкриват тенденция към намаляване на всички свързани замърсители през изследвания период. ГК2 (обяснява между 19 до 21 % от вариацията на данните) отразява високите концентрации на ФПЧ10 и NOx през спокойните летни дни. ГК3 (обяснява между 10 до 13 % от вариацията на данните) отразява повишените концентрации на SO2 по време на дни със силна скорост на вятъра и интензивни турбулентни процеси, които спомагат за дисперсията на замърсители от високи източници (ТЕЦ и комини на индустриални предприятия) до ниските слоеве на атмосферата, където се провеждат измерванията.

На фиг. 3 са представени примерни резултати въз основа на данни от типична фонова градска АИС „Хиподрума“ в София. Двумерните графики на факторните резултати (ГК1 срещу ГК2) се използват за идентифициране на разликата между качеството на градския въздух през различните месеци (сезонна зависимост) (фиг. 3а) и работните и почивните дни (фиг. 3б). Липсата на добре дефинирани групи на сходство е индикация, че няма значителна разлика в КАВ между работните и почивните дни, докато има видимо разслояване по месеци.



**Фигура 3.** Графики на наговарване ГК1 срещу ГК2, показващи сезонна (а) и между работните дни и почивните дни (б) зависимост за АИС „Хиподрума“ в София

### *Оценка и анализ на влиянието на физикогеографските условия и климатичните особености върху спецификата на градската среда*

Полученият ансамбъл данни от числените симулации бе използван за провеждането на сравнителен анализ на микроклимата в избраните пилотни гардове. Такъв тип изследване е направено за първи път в България и предоставя ценна информация относно разпределението на основни метеорологични параметри, характеристики на климата, връзката между тях и физикогеографските условия и свързаните с това мезометеорологични явления и процеси. Сравнени са микроклиматите на градовете София, Пловдив и Варна, като всеки от тях има своя специфика. Те се намират в различни климатични райони със значителни вариации между западната, централната и източната част на страната. Най-сложна и изключително разнообразна картина на атмосферните процеси в атмосферния граничен слой (АГС) се наблюдава при комплексен терен поради множеството фактори, които действат в мезо- и микромащаби. Орографските нееднородности и тези, породени от нехомогенността на постилащата повърхност, водят до формирането на термично индуцирана циркулация при слаб фонов вятър, или значителна модификация на крупномащабния синоптичен поток. София е такъв пример. Пловдив, от друга страна, се намира в обширната Тракийска низина и тези ефекти не са добре изразени. Варна е типичен крайбрежен град с влияние на бризовата циркулация, която води до по-мек климат и променен режим на валежите.

Анализирани са шест ключови метеорологични параметъра (температура, количество валежи, скорост и посока на вятъра, топлинен поток, поток латентна топлина и височина на АГС) и е показана разликата в градския микроклимат във висококотловиден район (София), равнинен терен (Пловдив) и крайбрежна зона (Варна). Изследвани са локални мезометеорологични явления, като градския топлинен остров (ГТО), бризова и планинско-долинна циркулация, както и специфични климатични събития, като екстремно студено време (температури под  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  в някои райони), горещи вълни и епизоди на интензивни валежи и наводнения през периода на изследването. Очаква се изменението на климата да засили тези въздействия, поставяйки значителни предизвикателства пред градското планиране.

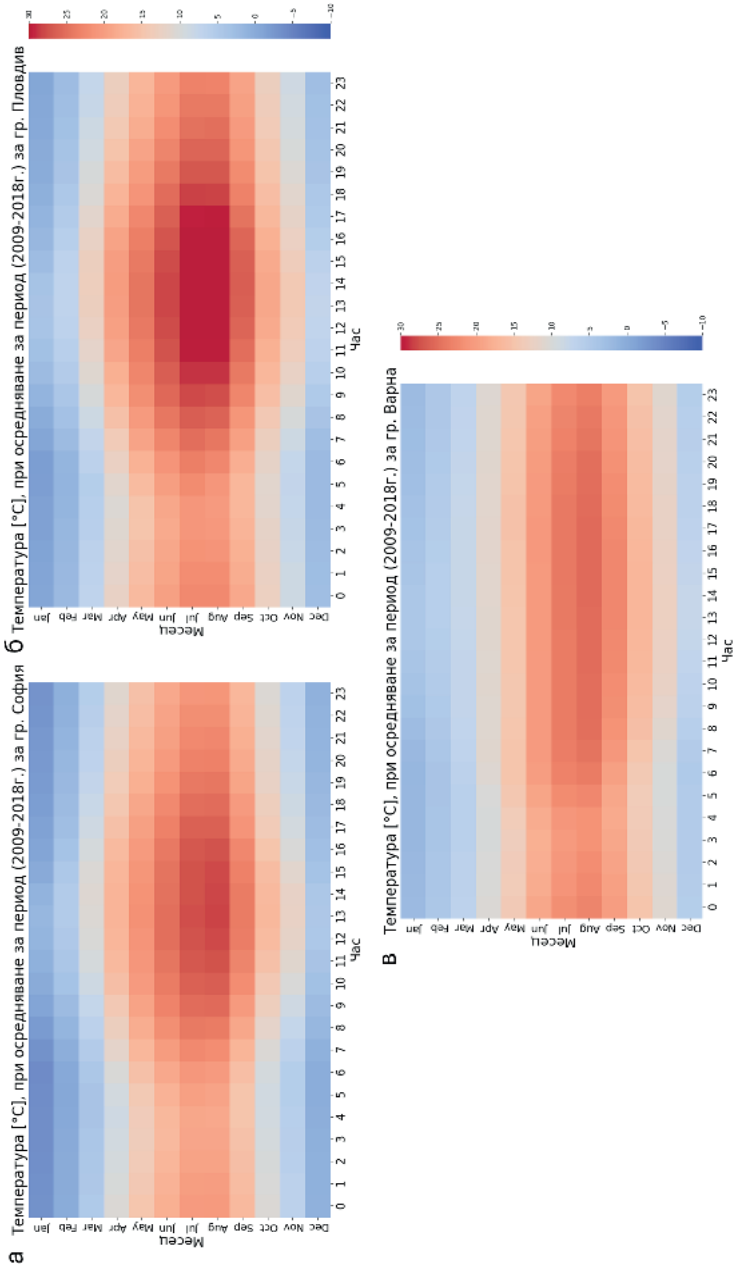
Температурата на повърхността и в АГС е една от променливите, кои-

то най-добре отличават и характеризират спецификата на микроклимата в градските райони. През годините научните изследвания са доказали, че в градска среда се наблюдават устойчиво по-високи температури, в сравнение с естествената заобикаляща среда, което се определя като ефект на ГТО. Проучването показва устойчива разлика от около 4 °C между градската и извънградската среда за градовете София и Пловдив. Трябва да се има предвид, че това са климатични характеристики (средна температура, получена на базата на 10-годишен период) и при конкретни реални метеорологични ситуации тази стойност е по-висока. Резултатите за района на Варна не са толкова контрастни, тъй като температурата на водата (морето и Варненското езеро, намиращи се в непосредствена близост) влияе значително върху тази на градската среда. Един пример за сравнение между трите градски района на средномесечното поле на температурата в точка, избрана в централната градска част, получено след осредняване за целия изследван период по часове, дни и месеци от годината, е показан на фиг. 4.

Отчетливо се забелязват различията между градовете София, Пловдив и Варна. Най-високи са средните температури в Пловдив, пониски – в София, поради разположението на града във висококотловинно поле (около 550 м) и най-ниски във Варна поради влиянието на крайбрежието и по-малките сезонни колебания. Изследвания на регионалните климатични различия на градовете в България и потенциалните въздействия на промените в климата върху специфичния микроклимат са от изключителна важност. Тази информация може да помогне за оптимизирането на стратегиите за градско планиране и проектиране, насочени към смекчаване на отрицателните ефекти от урбанизацията и подобряване устойчивостта на градовете към изменението на климата и екстремните метеорологични явления.

### ***Оценка и анализ на влиянието на характеристиките на качеството на въздуха и топлинния комфорт в затворени помещения***

Учебните заведения са част от обществените сгради с най-висок коефициент на използваемост, което поставя определени изисквания към строежа, поддръжката, контролирането, и особено към редуцирането на рисковите фактори, асоциирани с учебната среда и относими към здравето и физическото развитие на подрастващите.



**Фигура 4.** Разпределение на средномесечната температура по часове от денонощието в централната част на градовете София (а), Пловдив (б) и Варна (с). Данните са получени след осредняване за всеки конкретен час на данните от целия 10-годишен период, след което са получени средномесечни стойности



Качеството на въздуха в училищните сгради и ролята му на мулти-компонентен рисков фактор оказва модулиращ ефект върху здравето на ученици и преподаватели. Особено важно е идентифицирането на основните замърсители на въздуха в помещенията на училищните сгради – ФПЧ10, ФПЧ2.5, О3, СО, NO2, въглероден диоксид (СО2), формалдехид, летливи органични съединения. Също от съществено значение е да се анализират параметрите на някои физични, химични и биологични индикатори, като температура и относителна влажност на въздуха, наличие на влага и плесен. Въпреки че COVID-19 пандемията и обучението онлайн не позволиха провеждането на по-мощна кампания, полевите измервания, проведени в 51. средно училище „Елисавета Багряна“, ул. „Софийски герой“ № 28, дадоха възможност за събирането на данни и изграждането на надеждна методология за провеждане на такъв тип изследвания. Учебното заведение се намира на територията на квартал „Хиподрума“ в София, в близост до АИС „Хиподрума“, за която са докладвани съществени превишения на ФПЧ през зимния сезон. Това позволи установяването на връзка между КАВ в околната среда и в затворените помещения, което е важно за изграждането на стратегия за превенция и опазване здравето на нашите деца.

### ***Инвентаризация на емисиите, основана на „bottom up“ метода***

Поради значителния интерес към замяна на отоплителни инсталации, оползотворяващи изкопаеми горива и дърва, с такива, преобразуващи биомаса и нейни деривати, както и към производството на биогорива от биомаса, във фокуса на проведените изследвания са:

- лабораторни и числени експерименти, позволяващи определянето на основни химикокинетични и топлохимични параметри, характеризиращи състава и свойствата на ТБГ/биомаса и условия за тяхното оползотворяване;
- изследване на ТБГ/биомаса, налични на българския пазар, за които към настоящия момент не са установени подробни данни по темата в достъпни източници на научната литература;
- количествено измерване на ФПЧ, плътност на разпределение на частиците по размер, определяне на техни физични и химични характеристики, както и на основни газообразни вещества в състава на

димни газове, получени в процеса на оползотворяване на ТБГ/биомаса.

Таблица 4 представя описание на ключови гориво-технически и химически характеристики на ТБГ (във вид на пелети)/биомаса. Голяма част от избраните пелети са произведени от биомаса, получена главно като отпадъчен продукт от селското стопанство, хранително вкусовата промишленост или производството на течни биогорива. Например използваните пелети от иглолистна дървесина съдържат 5 – 10 % кора от същата дървесина. Установени са примери за директно изгаряне на биомаса от типа: ядки от череши, праскови или кайсии. Интерес за производителите на ТБГ представлява и биомаса, получена от изсушеното отработено кафе (от кафе-машини), бързо растящи видове и много други.

Фиг. 5 представя плътността на разпределение на ФПЧ, получени при изгарянето на пелети от иглолистна дървесина (ФПЧ от пелети) и на кокс (ФПЧ от кокс). Коксът е получен в предходен процес на частична пиролиза на пелети от иглолистна дървесина с цел освобождаване на летливите органични съединения в състава на горивото. Експериментът демонстрира, че при равни други условия концентрацията на ФПЧ в димните газове, получени при окислението на пиролизираните пелети, клони към нула, за разлика от нивата на ФПЧ, измерени в състава на димните газове при изгарянето на единична пелета от оригиналното гориво. Връзката между относителния масов дял на летливи органични съединения в състава на биогоривото и концентрацията на ФПЧ в състава на димните газове се потвърждава и от резултатите, представени на фиг. 6.

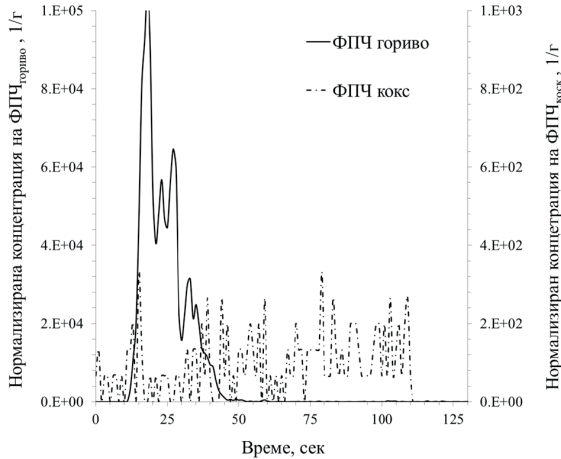
Плътността на разпределение на ФПЧ е около 3 порядъка по-ниска при изгарянето на пелети от слама (биогоривото с най-ниско съдържание на летливи органични съединения, съгласно таблица 4) спрямо нивата на ФПЧ, измерени в димните газове, получени при изгарянето на кайсиеви ядки (биомасата с най-високо съдържание на летливи органични съединения). Друг важен извод от резултатите, описани във фиг. 6, е фактът, че при всички изследвани биогорива плътността на разпределение на така наречените ултрафини прахови частици (с аеродиманичен диаметър, равен на или по-малък от 1 мкм) е с минимум 3 до 4 порядъка по-висока от концентрация на ФПЧ с размер, по-голям от 1 мкм.

**Таблица 4. Основни гориво-технически и химични характеристики на ТБГ/биомаса**

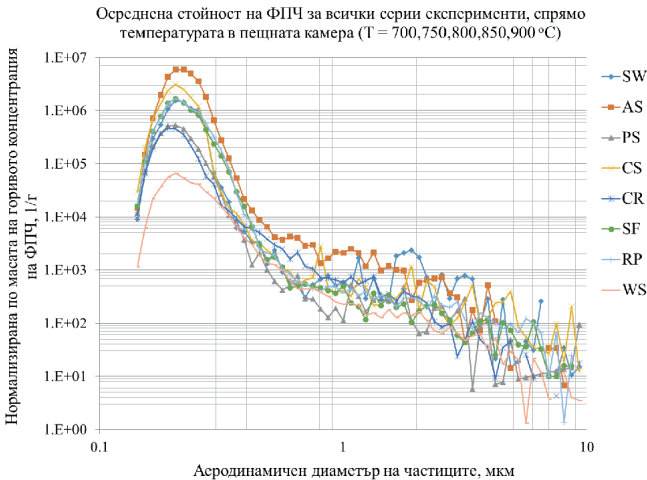
Параметър	Иглолистна дървесина (SW)	Слънчогледови люспи (SF)	Рапица (RP)	Слама (WS)	Черешки ядки (CS)	Праскови ядки (PS)	Кайсии ядки (AS)	Кафе Отработено (CR)	Лигнин (L)
Относителен състав (Proximate analysis, wt %, за аналитична маса)									
Влага	6.89	7.52	9.86	9.62	9.98	8.12	6.01	7.78	7.78
Пепел	0.65	2.88	4.59	9.80	1.13	1.16	1.31	1.52	3.61
Летливи	78.77	76.93	78.53	72.53	81.12	78.62	85.02	83.98	65.27
Кокс (по разлика)	13.69	12.67	4.59	8.02	7.76	12.10	7.665	7.66	23.34
Елементен анализ (Ultimate analysis, wt %, за суха безпепелна маса)									
Въглерод	47.77	54.04	49.64	48.39	54.29	49.90	55.63	56.52	55.54
Водород	6.48	8.45	8.24	8.59	7.90	6.28	8.32	8.52	7.10
Сяра	0.02	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.74
Азот	0.14	3.00	2.67	3.25	4.40	1.01	2.96	4.07	0.26
Хлор	нна	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	нна
Хлорород (по разлика)	38.05	23.96	24.85	20.20	22.15	33.38	25.62	21.44	24.97
Силикатен анализ (Ash analysis, wt %, суха маса)									
SiO <sub>2</sub>	2.74	1.01	2.47	57.79	3.58	30.43	1,97	1.78	0.138
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.37	0.15	0.97	3.93	0.43	3.72	0,24	0.60	1.329
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.72	0.92	0.25	1.37	0.43	1.76	0,56	0.47	0.362
MnO	1.60	0.02	0.06	0.17	0.05	0.06	0,04	0.22	0.010
CaO	33.29	20.44	29.07	8.12	13.00	8.67	14,50	17.75	1.790
MgO	7.44	11.95	9.36	2.82	10.57	6.86	17,47	9.75	0.142
BaO	0.18	0.01	0.05	0.01	0.01	0.02	0,01	0.02	0.069
Na <sub>2</sub> O	0.98	0.57	2.48	0.93	0.8	1.15	0,21	0.75	0.093
K <sub>2</sub> O	15.76	28.78	17.80	12.11	24.16	20.21	29,52	31.24	0.378
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.01	0.07	<0.01	0.01	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	нна
TiO <sub>2</sub>	0.32	0.14	0.08	0.20	0.14	0.22	0,27	0.15	< 0.01
ZnO	0.93	0.06	0.01	0.07	0.08	0.07	0,21	0.12	0.006
CuO	0.03	0.03	0.01	0.04	0.07	0.08	0,07	0.18	0.028
SrO	0.01	0.02	0.01	0.04	0.03	0.04	<0.01	0.03	0.016
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.78	5.88	11.67	2.57	26.65	14.33	13,13	17.96	нна
Горна топлина на изгаряне (Calorimetric analysis, MJ/kg, за суха маса)									
HHV	19.38	20.28	18.69	16.79	23.62	22.36	26.11	20.7	23.27

нна – няма проведен анализ;

\* - съдържание на съответните метали и неметали под формата на елементи.



**Фигура 5.** Нормализирана по масата на горивото/кокса плътност на разпределение на ФПЧ при изгарянето на пелети от иглолистна дървесина (ФПЧ от гориво) и на кокс (ФПЧ от коксов остатък), получен от същия вид пелети при следните условия на експеримента:  $p = 1 \text{ атм.}$ ;  $T = 800 \text{ оС}$ ;  $pO_2 = 16.5 \text{ кПа}$ ;  $mfuel, initial = 0.46 \text{ гр}$ .



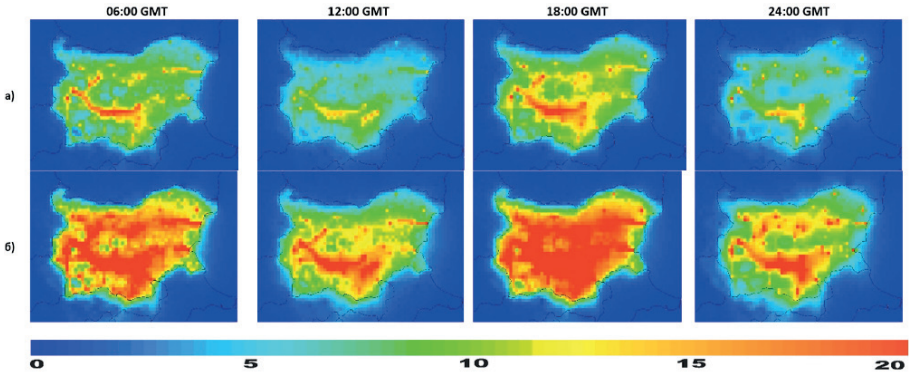
**Фигура 6.** Плътност на разпределение на ФПЧ по размер (10 – 0.1 мкм). Резултатите са нормализирани спрямо масата на горивото и  $T$  в пещната камера (700 – 900 °).

### **Оценка и анализ на влиянието на различни емисионни сценарии върху замърсяването на атмосферата**

Направена е оценка на ефектите от прилагането на Националната стратегия за намаляване нивата на емисиите в страната, тъй като съгласно Директива на ЕС 2016/2284 България има задължението за намаляване на емисиите на SO<sub>2</sub>, азотни оксиди (NO<sub>x</sub>), неметанови летливи органични съединения (НМЛОС), амоняк (NH<sub>3</sub>) и ФПЧ спрямо нивата на базовата 2005 г. за периода 2020 – 2029 г. и след 2030 г. Разгледани са двата сценария: при политиките и мерките, действащи към настоящия момент, и при допълнителни политики и мерки, при които се постигат националните цели и приоритети за 2030 г. В изследванията са симулирани пет емисионни сценария, описани, както следва.

- Сценарий 1: с емисии за 2005 г. (референтен период), данни за емисии за България, по инвентаризация за 2005 г.
- Сценарий 2: емисии за 2020 – 2029 г., прогнозирани със съществуващи мерки.
- Сценарий 3: емисии за 2020 – 2029 г., прогнозирани с допълнителни мерки.
- Сценарий 4: емисии след 2030 г., прогнозирани със съществуващи мерки.
- Сценарий 5: емисии след 2030 г., прогнозирани с допълнителни мерки.

Резултатите са представени във вид на относителни разлики спрямо референтния период (2005 г.), което позволява да се оцени ефектът от въздействието на редуцията на емисиите върху КАВ. Фиг. 7 представя един пример на такава ансамблова оценка за ФПЧ<sub>2.5</sub> за периода след 2030 г. в избрани часове от денонощието. Оценка са получени на базата на числени симулации за период от 7 години, достатъчно изчерпателен, за да отразява типичните и екстремните явления и процеси с тяхната типична пространствено-времева изменчивост.



**Фигура 7.** Карти на приземните относителни разлики за изменение на концентрациите на ФПЧ2.5 [%], получени с емисиите от сценарии със съществуващи мерки (а) и с предприети допълнителни мерки (б), за периода след 2030 г., отнесени към референтния период (емисии за 2005 г.), осреднени по целия ансамбъл годишно в часовете 6, 12, 18 и 24 ч.

### ***Анализ и прогноза на пространствено-времето разпределение на биологически активната УВ радиация в страната***

На основата на съществуващата база данни и проведена допълнително измервателна кампания през 2022 г. (измервания чрез преносима апаратура на УВ радиация, общото съдържание на озон в атмосферата, съдържанието на влага и оптичката дебелина на аерозолите в условията на ясно време) е разработен усъвършенстван емпиричен модел за прогнозиране на индекса на УВ радиация. Получените зависимости позволяват да се прогнозира акумулираната доза и съответно допустимият престой под слънцето на незащитени части на човешкото тяло, които са разположени перпендикулярно на слънчевите лъчи в съответния час от денонощието. Информацията е графично представена и общодостъпна ([http://data.niggg.bas.bg/uv\\_index/uvmaps\\_bg.htm](http://data.niggg.bas.bg/uv_index/uvmaps_bg.htm)), като дава информация за индекса на УВ радиацията за текущия и за следващия ден, както и препоръки за безопасен престой навън (фиг. 8).





### ***Екологичен мониторинг на радиационната обстановка в приземния атмосферен слой***

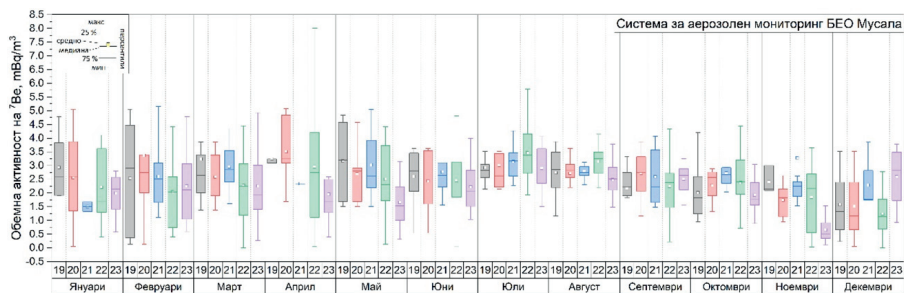
Извършването на надеждни, изчерпателни и детайлни изследвания на радиоактивността на атмосферата, формирана от естествени и антропогенни източници в приземния въздушен слой на територията на България, е пряко свързано с подобряване качеството на живот и има съществено значение в регионален и глобален аспект, особено след аварията в атомните електроцентрали (АЕЦ) в Чернобил и във Фукушима. Най-често прилаганият подход за защита здравето на хората от неблагоприятните ефекти на радиоактивното замърсяване на въздуха е провеждането на постоянен радиационен мониторинг.

Мониторингът на радиоактивността на атмосферата, извършван от ИИИЯЕ – БАН, включва изследване на обемната радиоактивност на аерозоли и определяне на гама-фона на територията на Института в София и на връх Мусала. Изследването на въздушната радиоактивност в центъра на Национален парк „Рила“, на връх Мусала, дава важна информация за присъствието и динамиката на различни радионуклиди, от естествен и техногенен произход. БЕО „Мусала“ (станция за ранно оповестяване на трансграничен пренос на замърсители) е важна референтна точка за измерване на различни параметри на атмосферата и далечни преноси на замърсители. Намира се на височина около 3000 м, където преносът на въздушни маси е особено интензивен, и в случай на трансгранични преноси значително по-бързо и ефикасно може да се осъществи контрол. Ето защо данните, измерени на връх Мусала, са актуални не само за България, те дават ценна информация и за цяла Югоизточна Европа. Така например през 2011 г. там беше установен, за пръв път в региона, пренос на ниски концентрации от техногенните радионуклиди – продукти на делене  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , от аварията в АЕЦ „Фукушима“, Япония (Masson et al. 2016). През октомври 2017 г. в проби от аерозолни филтри бе регистриран радионуклидът  $^{106}\text{Rh}$ , при отсъствието на каквито и да било други гама-излъчващи радионуклиди (Penev et al. 2017; Masson et al. 2019).

Изследването на атмосферната радиоактивност и проследяването на радиационния гама-фон стана изключително важно и актуално за българското общество след възникналия пожар в зоната с ограничен достъп около АЕЦ „Чернобил“ на 4 април 2020 г., както и след започва-

не на военните действия около Чернобилската и Запорожката АЕЦ в Украйна през февруари 2022 г.

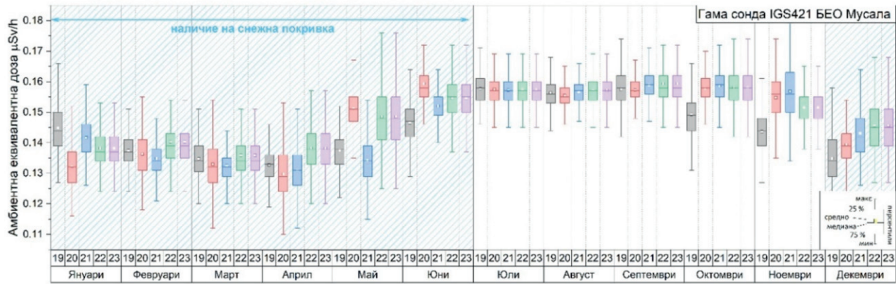
Далечният пренос на аерозоли е основен източник на естествена и техногенна радиоактивност и позволява своевременно регистриране на всяко отклонение от нормалните радиационни условия. Резултатите от проведения гама-спектрометричен анализ на аерозолни филтри за периода 2019 – 2023 г. показват, че в пробите са регистрирани радионуклидите  $^{137}\text{Cs}$  и  $^7\text{Be}$ . Стойностите за техногенния  $^{137}\text{Cs}$  са пониски или съизмерими с минимално детектируемата активност ( $0.004 \text{ mBq/m}^3$ ) и не представляват здравен риск и опасност за населението и околната среда. В гама-спектрите на всяка проба присъства и естественият космогенен радионуклид  $^7\text{Be}$  (фиг. 9). Последният се получава в горните слоеве на атмосферата в реакции на дълбоко ядрено разцепване на азот и кислород под въздействие на космическата радиация.  $^7\text{Be}$  е индикатор за движение на големи въздушни маси от стратосферата към тропосферата. Измерените стойности на  $^7\text{Be}$  са в диапазона от  $0.03 \text{ mBq/m}^3$  до  $8.01 \text{ mBq/m}^3$  и са много под допустимите средногодишни стойности, съгласно Наредбата за радиационна защита от 20.02.2018 г. (ТСГОАВ –  $1.9.103 \text{ Bq/m}^3$ ).



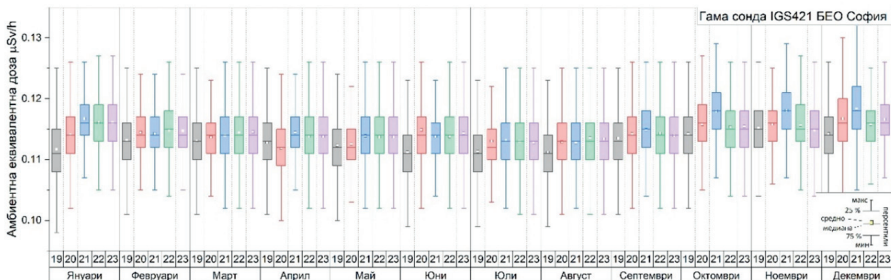
**Фигура 9.** Активност на  $^7\text{Be}$  в аерозолни проби ( $\text{mBq/m}^3$ ) от връх Мусала за периода 2019 – 2023 г.

За периода 2019 – 2023 г. няма измерени повишени стойности на гама-фона. Среднодневните стойности на радиационния гама-фон за връх Мусала са в диапазона от  $0.11$  до  $0.18 \mu\text{Sv/h}$  (фиг. 10), а за София – от  $0.09$  до  $0.14 \mu\text{Sv/h}$ . (фиг. 11). Данните за връх Мусала са по-високи от тези в София, което е породено от вторичните космически лъчи и наличието на гранитни скали. Наблюдава се сезонна вариация в стойностите на

радиационния фон на връх Мусала, изразена с минимум през зимните месеци, което се дължи на екраниращия ефект на снега. Установено е, че снежната покривка екранира гама-фона от гранитните скали, което води до намаляване на естествения гама-фон с около 20 %.



**Фигура 10.** Амбиентна еквивалентна доза, измерена на връх Мусала за периода 2019 – 2023 г.



**Фигура 11.** Амбиентна еквивалентна доза, измерена в ИЯИЯЕ – БАН, София, за периода 2019 – 2023 г.

През периода на изпълнение на програмата, включващ пожара в зоната с ограничен достъп около АЕЦ „Чернобил“, възникнал на 4 април 2020 г., и военните действия в района на Чернобилската и Запорожката АЕЦ в Украйна от февруари 2022 г., не са регистрирани трансгранични преноси и не е наблюдавано антропогенно замърсяване с радионуклиди, както и отклонение от типичните стойности на естествените радионуклиди ( ${}^{7}\text{Be}$ ) във въздуха на територията на България. Отсъстват неблагоприятни тенденции в радиационната обстановка и екологичния статус на територията на България.

### **Лидарно изследване и картографиране на аерозолни замърсявания в приземния атмосферен слой**

Лаборатория „Лазерна локация“ към ИЕ – БАН, е единствената специализирана у нас научна лаборатория, провеждаща систематични сертифицирани лидарни изследвания на атмосферните процеси. Провежданите в лабораторията лидарно сондиране и съответно картографиране на приземните аерозолни наслоявания позволяват получаването на систематизирана информация за плътността, разпределението и динамиката на аерозолните замърсявания, включително ФПЧ, над обширни градски и индустриални зони, съдържащи голям брой потенциални и реални източници на вредни аерозолни емисии. Резултатите от лидарното сондиране на приземния атмосферен слой, заедно с тези от съществуващите системи за мониторинг на въздуха в големите градове, допринасят съществено за съставянето на по-пълна и адекватна картина на КАВ.

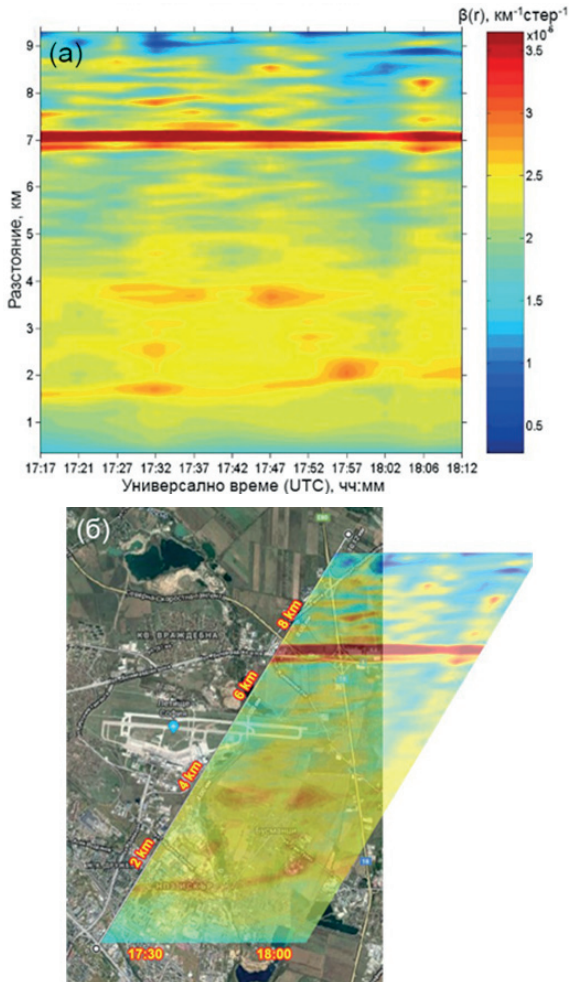
За контрол на качеството на въздуха и измененията му, както и за разкриване на източници на антропогенни замърсявания се извършва хоризонтално аерозолно лидарно сондиране на приземния атмосферен слой. Чрез сканиране на линията на сондиране на лидара могат да бъдат получени почти в реално време разпределенията на коефициентите на екстинкция  $\sigma$  и обратно разсейване  $\beta$  върху обширни пространствени сектори. В резултат от такова сондиране, привързано към картата на София, се получават цветни карти на  $\sigma$  или  $\beta$ , характеризиращи нивото на аерозолните замърсявания на въздуха в градската среда. За реализиране на пряко лидарно измерване и картографиране на аерозолната масова концентрация  $C_m$  е необходимо познаване на съответните коефициенти на пропорционалност, които са всъщност калибровъчни лидарни константи по отношение на  $C_m$ . За определянето им са използвани паралелно получени лидарни данни за аерозолната екстинкция и данни за масовата концентрация на ФПЧ от автоматичните локални (in situ) измервателни станции за определяне на КАВ, инсталирани на територията на Столична община.

Като съществен етап от изследванията са проведени две експериментални кампании за определяне на специфични за Софийския регион сезонни стойности на калибровъчните лидарни константи. Първата кампания обхващаше периода май – юли 2020 г., а втората – периода

септември 2020 г. – януари 2021 г. Бяха използвани две лидарни системи: едната с лазер на пари на меден бромид (CuBr), излъчващ на дължина на вълната  $\lambda=510.6$  nm, а другата – с лазер с активна среда кристал итрий-алуминиев гранат, легиран с неодим (Nd:YAG), генериращ на две дължини на вълната – 1064 nm и 532 nm. Линията на сондиране на първата система беше насочена хоризонтално на югоизток от лидарната станция, намираща се в квартал „Младост 1“, към квартал „Факултета“, а линията на сондиране на втората – близо до хоризонтално, на югозапад, към планината Витоша. Лидарното измерване на аерозолната екстинкция протичаше успоредно с измерването на масовата концентрация от най-близките до линиите на сондиране автоматични измервателни станции. В резултат бяха оценени средните стойности и стандартните отклонения на калибровъчната константа  $K\sigma$  за пролетно-летния и есенно-зимния сезон за трите дължини на вълната. Оказа се, че в границите на статистическата грешка за всички сезони и разгледани дължини на вълната може да се използва една обща стойност на  $K\sigma = 0.199 \pm 0.0318$  km mg/m<sup>3</sup>, която е в съгласие с подобен резултат ( $K\sigma = 0.220$  km mg/m<sup>3</sup>), получен за градската зона на Париж при  $\lambda = 355$  nm. Тук е интересно да се отбележи и това, че свойствата на приземното аерозолно поле в София позволяват опростяване на обработката на лидарните данни и съответно оценката на коефициента на аерозолна екстинкция. В този случай, на километри от лидарната станция този коефициент е средно постоянен по линиите на сондиране на лидарите.

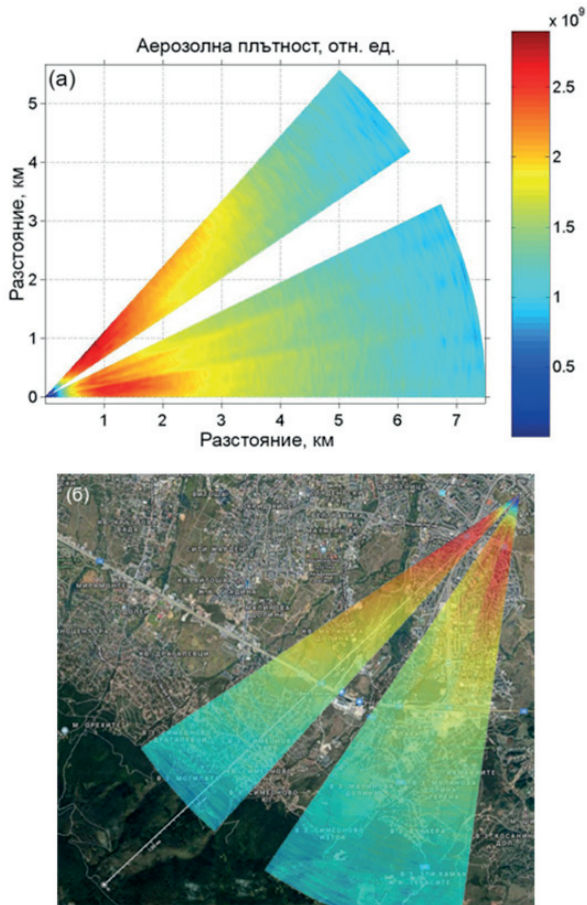
Резултатите от хоризонтално лидарно сондиране на еволюцията на аерозолните замърсявания по протежение на една фиксирана линия на сондиране са илюстрирани на фиг. 12. Експериментите в този случай са проведени, използвайки лидара с лазер на пари на CuBr. Линията на сондиране минава на 20 – 40 м над земната повърхност и е насочена от лидарната станция към жилищен комплекс „Дружба“. На фиг. 12а ярко се откроява действието на един постоянен мощен източник на вредни емисии, отстоящ на 7 км от лидарната станция. Получената в резултат на лидарните измервания стойност на аерозолната масова концентрация е около 30 мкг/м<sup>3</sup>, което е под максимално допустимата среднодневна ФПЧ10 концентрация от 50 мкг/м<sup>3</sup>. Налагането на цветната карта (фиг. 12а) върху картата на жилищния комплекс „Дружба“ разкрива локализацията на интензивния източник на аерозолни замърсявания (фиг.

12б). Забелязват се и други по-слаби замърсявания с по-малък размер и по-кратко време на живот, както и още по-слаб аерозолен фон от 0 до 6 км разстоя



**Фигура 12.** Времева еволюция на коефициента на обратно разсейване  $\beta(r)$  по протежение на една фиксирана линия на сондиране (а) и цветова лидарна карта, наложена на топографска карта на района (жилищен комплекс „Дружба“) (б).





**Фигура 13.** Секторни цветови карти на аерозолната плътност от квази-хоризонтално сканиране с аерозолния лидар с Nd:YAG лазер в югозападно направление: (а) пространствено-цветова диаграма; (б) цветова лидарна карта, наложена на топографска карта на района

На Фиг. 13а е изобразено в цветен код двумерно секторно разпределение на аерозолните замърсявания в определени райони на София, получено чрез  $50^\circ$  хоризонтално кръгово сканиране, на юг-югозапад от лидарната станция, на линията на сондиране на лидара с лазер на Nd:YAG. На фиг. 13б разпределението от фиг. 13а е наложено върху картата на



София, като е ориентирано по посоките на сканиране. Празната бяла секция в разпределението не е сканирана поради наличието в нея на препятствия по пътя на лазерния лъч. Червеният цвят на картата показва районите с най-голяма плътност на замърсяванията, а преходът през различните цветове от спектъра до синьо съответства на постепенно спадане на плътността (масовата концентрация) на замърсяванията до минимум. Както и трябва да се очаква, най-силно замърсени (най-червени) са най-гъсто населените софийски райони – такива като комплексите „Младост 1 – 4“, където и трафикът е най-интензивен. С отдалечаване от гъсто населените райони в посока Околовръстното шосе например плътността на замърсяванията намалява до оранжево и жълто. По-нататък, в предградията и в подстъпите към планината Витоша въздухът става все по-чист, а цветовете на картата – все по-студени (зелени и сини).

Получените резултати демонстрират възможностите на еластичните лидарни системи за експресно сондиране на атмосферното аерозолно поле в големи мащаби и с висока времева и пространствена разделителна способност, осъществявайки прецизни наблюдения и анализ на еволюцията на коефициентите на екстинкция и обратно разсейване, и съответно на аерозолната масова концентрация. Създадени са и карти на аерозолните замърсявания в населените места чрез привързване на определяните по лидарен път хоризонтални двумерни диаграми на масовата концентрация към географските карти на съответните райони. Такива карти, редовно обновявани, могат да сигнализират своевременно селищните власти за предприемане на необходимите мерки против прекомерно замърсяване на въздуха.

Анализът на натрупаните в рамките на проекта данни е от особено значение при оценка на потенциалните рискове от аерозолните замърсявания за човешкото здраве.

### **Международно сътрудничество**

Изпълнението на дейностите по инвентаризация на емисиите е реализирано при пряко взаимодействие с външни лаборатории, изследователски организации и представители на бизнес организации. В тази връзка научният екип от ТУ – София, успешно партнира с изследо-

вателската група „Инженеринг на химични реакции & горене“ в Химико-инженерния институт към Техническия университет – Виена, Австрия. Темите на взаимодействие са насочени към методи за възстановяване и пречистване на суровини и материали, получени в процеса на оползотворяването на изкопаеми и алтернативни горива, изследване кинетиката на изгаряне на биомаса, състав и характеристики на основните продукти (газообразни и ФПЧ) в димни газове.

Реализирано е и успешно взаимодействие с учени от Политехническият университет в Лисабон (ПТУ – Лисабон), по теми, свързани с оползотворяването на ТБГ в условия, типични за реактор от тип Drop Tube Furnace, позволяващ камерно изгаряне/газификация и други процеси на термохимична конверсия на твърди биогорива с възможност за гравиметричен анализ на ФПЧ и газообразни продукти в димните газове.

На 24 януари 2023 г. в Центъра по мехатроника и чисти технологии при Техническия университет – София (ТУ – София) се проведе интердисциплинарен семинар на тема „Теория и практика при измерването на аерозоли (Theory and practice in aerosol measurements)“, организиран с любезното съдействие на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“. Семинарът бе насочен главно към млади изследователи и специалисти с интерес в измерването на аерозоли както при източника, така и в състава на атмосферен въздух или вътрешна работна среда (в затворени помещения). В събитието взеха участие учени от български и чуждестранни изследователски институции от Германия, Австрия, Италия и други. Основни партньори и съорганизатори на събитието бяха представители на две международни бизнес организации, както следва: Dekati, Finland и BioWell s.r.o., Slovakia.

### **Разпространение и популяризация на резултатите**

Основният метод за разпространение на резултатите от научноизследователската дейност са публикациите в реномирани научни списания и участие в престижни научни форуми (конференции, работни срещи, семинари). Общо има излезли 65 научни публикации в специализирани списания и научни поредици с импакт-фактор (IF) и/или импакт-ранг

(SJR), като 4 от тях са в списания от топ 10% в класацията на Web of Science (Q1). Някои от най-важните статии, излезли в първи и втори квартал Q1 и Q2, са:

Naydenova, I., Sandov, O., Wesenauer, F., Laminger, T., Winter, F., 2020. Pollutants formation during single particle combustion of biomass under fluidized bed conditions: An experimental study. *FUEL*, vol. 278. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117958>, IF 6.8 (2019-2020), SJR 1.56 (2020), Q1.

Dimitrova, R. and Velizarova, M., 2021. Assessment of the contribution of different particulate matter sources on pollution in Sofia city. *Atmosphere*, vol. 12, no. 423. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/4/423>, IF=2.96 (2020-2021), SJR=0.7 (2020), Q2.

Gadzhev, G. and Ganey, K., 2021. Computer simulations of air quality and bio-climatic indices for the city of Sofia. *Atmosphere*, vol. 12, no. 8. Available from: <https://doi.org/10.3390/atmos12081078>, IF=2.96 (2020-2021), SJR=0.7 (2020), Q2.

Ivanov, V. and Georgieva, I., 2021. Basic facts about numerical simulations of atmospheric composition in the city of Sofia. *Atmosphere*, vol. 12, no. 11. Available from: <https://doi.org/10.3390/atmos12111450>, IF=2.96 (2020-2021), SJR=0.7 (2020), Q2.

Gadzhev, G. and Ganey, K. 2021. Computer simulations of air quality and bio-climatic indices for the city of Sofia. *Atmosphere*, vol. 12, no. 8. Available from: <https://doi.org/10.3390/atmos12081078>, IF=2.96 (2020-2021), SJR=0.7 (2020), Q2.

Gadzhev, G., Ganey, K., Mukhtarov, P., 2022. Influence of the grid resolutions on the computer simulated surface air pollution concentrations in Bulgaria. *Atmosphere*, vol. 13, no. 5. Available from: <https://doi.org/10.3390/atmos13050774>, IF=2.96 (2021-2022), SJR=0.66 (2022), Q2.

Bojilova, R., Mukhtarov, P., Miloshev, N., 2022. Latitude dependence of the total ozone trends for the period 2005 – 2020: TOC for Bulgaria in the period 1996–2020. *Atmosphere* 2022, vol. 13, no. 6. Available from: <https://doi.org/10.3390/atmos13060918>, IF=2.96 (2021-2022), SJR=0.66 (2022), Q2.

Velichkova, R., Pushkarov, M., Angelova, R.A., Sandov, O., Markov, D., Simova, I., Stankov, P., 2022. Exploring the potential of straw biochar for

- environmentally friendly fertilizers. *Sustainability*, vol. 14, no. 10. Available from: <https://doi.org/10.3390/su14106323>, IF=4.36 (2021-2022), SJR= 0.66 (2022), Q1.
- Toney, D., Geleva, E., Slavchev, B., Protohristov, H., Veleva, B., Dobrev, L., Demerdjiev, A., Dimitrova, D., 2023. Investigation of natural radioactivity of drinking water sources in south-central Bulgaria. *J. Radioanal. Nucl. Chem*, vol. 332, pp. 4641 – 4649. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-023-08983-5>, IF=1.58 (2022-2023), SJR= 0.36 (2023), Q2.
- Bojilova, R., Mukhtarov, P., 2023. Analysis of the ionospheric response to sudden stratospheric warming and geomagnetic forcing over Europe during February and March 2023. *Universe*, vol. 9, no. 8. Available from: <https://doi.org/10.3390/universe9080351>, IF=2.45 (2022 – 2023), SJR=0.78 (2023), Q1.
- Naydenova, I., Radoykova, T., Petrova, T., Sandov, O., Valchev, I., 2023. Utilization perspectives of lignin biochar from industrial biomass residue. *Molecules*, vol. 28, no. 12. Available from: <https://doi.org/10.3390/molecules28124842>. IF=4.46 (2022-2023), SJR= 0.74 (2023); Q1.
- Evgenieva, Ts., Vakareeva, E., Gurdev, L., Dreischuh, T., 2024. Identification of Saharan-dust intrusions over Sofia, Bulgaria, using near-ground PM10 and PM2.5 mass concentration measurements. *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 24, no. 6, 230304, Available from: <https://doi.org/10.4209/aaqr.230304>, IF=2.5 (2023-2024), SJR= 0.72 (2023), Q2.

Издадена е една монография – „Вредни за околната среда продукти при газификация и изгаряне на твърди биогорива“, Изд. къща „Авангард Прима“, София, май 2021, ISBN 978-619-239-575-9 (мека подв.), ISBN 978-619-239-576-6 (pdf).

Учени, членове на колективите имат 54 участия в престижни международни форуми, както и участие в организирането на 1st International conference on ENVIRONMENTAL protection and disaster RISKS, проведена на 29 септември – 1 октомври 2020 г., и като съорганизатори на 2nd International conference on ENVIRONMENTAL protection and disaster RISKS (EnviroRISKS 2022) & 10th Annual CMDR COE Conference on Crisis Management and Disaster Response (CM & DR 2022), проведена на 6 – 9 юни, 2022 г. в София, България. Също така учени имат участие в публични дискусии, свързани с темата, публични лекции, работни сре-

щи, прессъобщения в медиите и на уеб страниците на институтите, радио интервюта и други.



**Фигура 14.** Снимка от посещението на представители на дипломатически мисии у нас на БЕО „Мусала“

Организирано бе изкачване на връх Мусала на 27 август 2021 г. и посещение на БЕО „Мусала“ от представители на дипломатически мисии у нас. В дипломатическата група участваха извънредни и пълномощни посланици на Република Австрия, Република Корея, Република Индия, Република Словения, заместник-ръководител на мисията на Република Австрия, съветник на посланика на Кралство Нидерландия, представител на сп. „Дипломатически спектър“ (фиг. 14). Демонстрирана бе научната апаратура в базата и гостите се запознаха с изследванията, които се провеждат там.

Защитена е една дисертация за получаване на образователната и научна степен „доктор“ в научна област 5. Технически науки, професионално направление. 5.1. Машинно инженерство, научна специалност „Механика на флуидите“ на Техническия университет през ноември 2021 г. на тема „Динамика на процеса на изгаряне и генериране на вредности при използване на алтернативни горива“.

Защитени бяха също две дипломни работи въз основа на проведените изследвания за получаване на образователната степен „Магистър“:

- в ПУ „Паисий Хилендарски“ на тема „Изследване и оценка на въздействието върху околната среда на устойчиви органични за-

мърсители в България от Базова екологична обсерватория Мусала към Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика – БАН“, 2021 г. и

– в СУ „Св. Кл. Охридски“ на тема „Сравнително изследване на някои характеристики на микроклимата в градовете София, Пловдив и Варна“, 2023 г.

## ЛИТЕРАТУРА

- HEI (Health Effects Institute) (2024). *State of Global Air 2024, A special report on global exposure to air pollution and its health impacts, with a focus on children's health, Special report*, Boston, MA: Health Effects Institute. Available at: <https://www.healthdata.org/sites/default/files/2024-06/soga-2024-report.pdf> (accessed 30 July 2024).
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Available at: doi:10.1017/9781009157896 (accessed 30 July 2024).
- Masson, O., Bieringer, J., Brattich, E., Dalheimer, A., Estier, S., Penev, I., Ringer, W., Schlosser, C., Steinkopff, T., Steinmann, P., Tositti, L., Van Beek, P. and de Vismes-Ott, A. (2016) ‘Variation in airborne <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, particulate <sup>131</sup>I and <sup>7</sup>Be maximum activities at high-altitude European locations after the arrival of Fukushima-labeled air masses’, *Journal of Environmental Radioactivity*, pp. 162 – 163, pp. 14 – 22.
- Masson O., G. Steinhauser, D. Zok, O. Saunier, H. Angelov et all. (2019) ‘Airborne concentrations and chemical considerations of radioactive ruthenium from an undeclared major nuclear release in 2017’, *Proceedings of the National Academy of the United States of America*, vol. 116, no. 34), pp. 16750 – 16759.
- Penev, I., Angelov, H., Arsov, T., Georgiev, St., Uzunov, N. (2017) ‘<sup>106</sup>Ru aerosol activity observation above southeast Europe in October 2017’, *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 71, no. 5, pp. 613 – 618.
- МОСВ (2019) Национална Стратегия за адаптация към изменението на климата и План за действие; одобрена с Решение № 621 от 25.10.2019 г. на Министерски съвет. Available at: <https://www.moew.government>.

[bg-static/media/ups/articles/attachments/Strategy%20and%20Action%20Plan%20-%20Full%20Report%20-BGcd6d12eb7bc7294e29ac9ee4762fd2d8.pdf](https://bg-static/media/ups/articles/attachments/Strategy%20and%20Action%20Plan%20-%20Full%20Report%20-BGcd6d12eb7bc7294e29ac9ee4762fd2d8.pdf) (accessed 30 July 2024).

### **Използвани съкращения**

Автоматична измервателна станция (АИС)

Азотен диоксид (NO<sub>2</sub>)

Азотни оксиди (NO<sub>x</sub>)

Амоняк (NH<sub>3</sub>)

Атмосферния граничен слой (АГС)

Атомна електроцентрала (АЕЦ)

Базова екологична обсерватория „Мусала“ (БЕО „Мусала“)

Българска академия на науките (БАН)

Въглероден диоксид (CO<sub>2</sub>)

Въглероден оксид (CO)

Главни компоненти (ГК)

Градски топлинен остров (ГТО)

Европейски съюз (ЕС)

Изпълнителна агенция по околна среда (ИАОС)

Импакт-ранг (SJR)

Импакт-фактор (IF)

Индекс за качество на въздуха (AQI)

Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ),  
Българска академия на науките (БАН)

Институт по електроника (ИЕ), Българска академия на науките (БАН)

Исхемична болест на сърцето (ИБС)

Качеството на атмосферния въздух (КАВ)

Меден бромид (CuBr)

Министерство на околната среда и водите (МОСВ)

Национален институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ),  
Българска академия на науките (БАН)

Национален център по обществено здраве и анализи (НЦОЗА)



Национална здравноосигурителна каса (НЗОК)  
Национална система за мониторинг на околната среда (НСМОС)  
Неметанови летливи органични съединения (НМЛОС)  
Озон (O<sub>3</sub>), серен диоксид (SO<sub>2</sub>)  
Регионална здравна инспекция (РЗИ)  
Световна здравна организация (СЗО)  
Софийски университет (СУ)  
Твърди биогорива (ТБГ)  
Технически университет (ТУ)  
Ултравioletова (УВ) радиация  
Универсален топлинен индекс (UTCI)  
Фини прахови частици (ФПЧ)  
Фини прахови частици с диаметър, по-малък от 2.5 мкм (ФПЧ2.5)  
Фини прахови частици с диаметър и по-малък от 10 мкм (ФПЧ10)  
Community Multiscale Air Quality (CMAQ)  
Selected Nomenclature for Air Pollution (SNAP)  
The Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE)  
Weather Research and Forecasting model (WRF)

## МОДЕЛИ НА ПРОМЯНА НА ЕКОСИСТЕМИТЕ В РЕЗУЛТАТ НА КАТАСТРОФАЛНИ СЪБИТИЯ В МИНАЛОТО - КЛЮЧ КЪМ РАЗБИРАНЕ НА НАСТОЯЩИ И БЪДЕЩИ ЗАПЛАХИ ЗА ПЛАНЕТАТА

Чл.-кор. проф. д.н. Кристилина Стойкова  
Геологически институт  
при Българската академия на науките (редактор)

### Основни цели и задачи, обекти на изследване (К. Стойкова)

В РП.І.6. се анализират катастрофални събития от геоложкото минало на Земята чрез прилагане на актуалистичния принцип – събитията, които се случват в настоящето, са същите, които са се случвали и в миналото. Този анализ позволява по-дълбоко разбиране за природните процеси, обуславящи настоящите промени, и надеждно прогнозиране на бъдещите промени на Земята в дългосрочен план.

Въпреки постигнатия в световен мащаб напредък в изучаването на палеоклиматите в различните геоложки епохи, получаването на достоверни мултидисциплинарни записи на климатичните промени в миналото е от голямо значение за изграждане на прецизни модели за бъдещото развитие и постигане на устойчивост и приспособимост към глобалните промени.

Поставихме си за цел да анализираме стратегиите на преживяване и възстановяване на биоразнообразието в екосистемите вследствие на катастрофални и критични климатични събития в няколко геоложки периода от фанерозоя, запазени в геоложкия летопис на България. Тези събития и проявата им на българска територия са обект на изследване на отделните задачи и включват:

- глобалното застудяване в края на ордовишкия период преди 444 млн. г.;
- аноксичните събития *Kellwasser* и *Annulata* в девонския период преди 372 млн. г. (палеозойска ера);
- раннотоарското аноксично събитие преди 183 – 181 млн. г. (юрски период);

- валанжинското аноксично събитие „Weissert“ преди 134.5 млн. г. (раннокредна епоха);
- кампан-мастрихтското климатично захлаждане преди 72 млн. г. (къснокредна епоха);
- палеоцен-еоценският термален максимум преди 56 млн. г. (палеогенски период);
- еоцен-олигоценското глобално захлаждане преди 33 млн. г. (палеогенски период);
- екстремните климатични промени и критични събития в сухоzemните екосистеми през палеогена и неогена;
- климатичните промени в Източния Паратетис през миоцена (23 – 5 млн. г.);
- холоценските флукуации на морското ниво по българското Черноморско крайбрежие и въздействието им върху древните цивилизации;
- промените в растителността през късния плейстоцен и холоцен – ключ за прогнозиране на измененията на екосистемите при климатични промени и антропогенен натиск;
- кватернерни езерни седименти от високопланинските езера в Рила и Пирин – палеолимнология.

Комплексното изследване на набелязаните събития послужи за създаване на модели на реакцията на морските и сухоzemните екосистеми на съответните катастрофални събития, както и предизвиканите от тях бавни еволюционни промени в различните организмови групи. Някои от глобалните климатични събития бяха установени за първи път в геоложкия архив на територията на България.

### **Изследователски методи (К. Стойкова)**

Работата по всички задачи, включени в РП I.6 „Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото – ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата“ се базира на интензивни първоначални теренни изследвания и опробвания с цел локализиране на конкретни катастрофални събития, проявени на българска територия. В хода на конкретните изследвания са приложени съществуващите най-съвременни методи за дешифриране на геоложкия

летопис и установяване на началото и края на конкретното събитие. Те включват няколко групи методи:

– *палеонтоложки* – за възстановяване на таксономичния състав на изследваните фосилни групи организми;

– *биостратиграфски* – за точното определяне на относителната геоложка възраст на изследваните фосилни асоциации;

– *палеоекологски, статистически* количествени анализи на различни микро- и макрофосилни групи организми;

– *минералого-геохимични*, за възстановяване на химичните параметри на палеосредата на обитание;

– *седиментоложки*, за възстановяване на детайлите в палеосредата на обитание;

– *изотопно-геохимични* – изследване на леките изотопи на въглерода  $\delta^{13}\text{C}$  и кислорода  $\delta^{18}\text{O}$  като маркери за палеотемпературите и палеоклиматите в съответните геоложки епохи;

– *абсолютни геохронологски* – датиране с  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  и U/Pb методи за установяване на точната абсолютна възраст на скалите и хронологията на катастрофални събития като изригвания на вулкани в миналото, както и за уточняване на подхранващата провинция по време на залеждането в края на ордовика;

– *палеолуминесценция* на натечни калцити – нов и много мощен метод за количествени реконструкции на температурата и валежите в миналото със свръхвисока разделителна способност. Този метод беше приложен за изследването на климатичните промени в кватернера.

### **Дейности по програмата** (автори от всички представени задачи)

*По подзадача 1.6.1.1.* са проведени интензивни теренни изследвания, като са проучени между 60 и 70 отделни разкрития и геоложки разрези. С най-съвременна техника – лазерна аблация с индуктивно свързана масспектрометрия, са извършени лабораторни анализи на възрастта на 200 цирконови зърна. Проведен е и палеонтоложки анализ на над 500 проби.

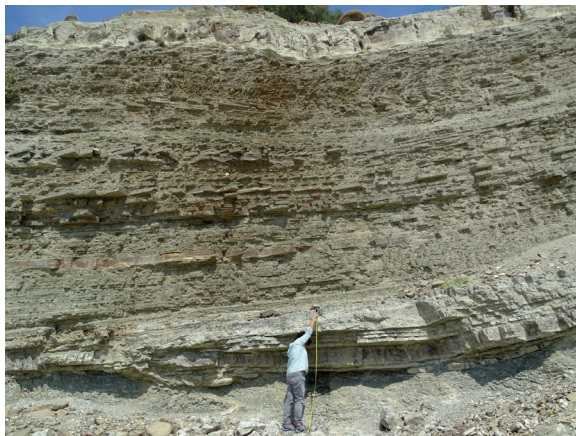
*По подзадача 1.6.1.2* са проведени командировки в областта Краище (Западна България) и Софийска Стара планина, където се разкриват

дълбоководни девонски седименти. Детайлно са опробвани за конодонтна фауна 7 разреза (с. Станьовци, с. Бераинци, с. Стайчовци, мах. Сулинци и с. Еловица), подходящи за установяване на къснодевонските глобални събития *Kellwasser*, *Annulata* и *Hangenberg*. Взетите над 70 проби са анализирани за микрофосили (конодонти), като те са заснети на сканиращ електронен микроскоп. Извършени са и 30 бр. седиментоложки анализи с цел по-точна интерпретация на палеозойските басейнови обстановки, химичен анализ на седиментоложки проби, ДТА анализ и рентген.

По *задача 1.6.4* са извършени теренни наблюдения и опробвания с различна резолюция в непрекъснати последователности на кампан – мастрихта в Северозападна и Североизточна България. Взети са над 430 бр. проби, които са анализирани за нанофосилна биостратиграфия. Паралелно с това от пробите са изолирани черупки от бентосни фораминифери за анализ на леките изотопи на въглерода  $\delta^{13}\text{C}$  и кислорода  $\delta^{18}\text{O}$ . В чуждестранни лаборатории (Великобритания и Швейцария) са анализирани 252 проби за леки изотопи, указващи важни климатични промени в палеотемпературата на морската вода.

По *задача 1.6.5* са осъществени командировки в Централна Северна България и приморската част на Източния Балкан. Проведено е детайлно теренно изследване на известните геоложки разрези и търсене на нови, които включват глобалните затопляния (хипертермални събития) в началото на еоцена. За варовити нанофосили са анализирани повече от 520 проби, а върху част от тях – 78 бр., са проведени определения на съдържанието на леки изотопи в черупки от бентосни фораминифери ( $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ ). Извършени са и 27 бр. седиментоложки анализа за карбонатно съдържание с цел да се очертае интервалът на разтваряне на карбонатите в разреза при с. Рибен, както и 5 бр. ДТА анализа и рентген.

По *задача 1.6.6* са проведени няколко командировки в страната (Източни Родопи) и две командировки на остров Лимнос, Гърция, за детайлно опробване на прехода еоцен – олигоцен и проследяване на двете ранноолигоценски суперерупции – Дъждовнишка и Боровишка – на вулкана от Източни Родопи. Взети са над 500 бр. проби от български и гръцки разрези за вулканоложки, геохронологички и микропалеонтоложки анализи (варовити нанофосили).



**Фигура 1.** Комплексно опробване на прехода еоцен – олигоцен в разрез Созон, Лимнос, Гърция, с вулкански туфи от суперерупциите в Източните Родопи

По *задача 1.6.8* са извършени теренни наблюдения и опробвания от членовете на колектива. Проведени са: диатомеен анализ, светлинна и сканираща електронна микроскопия на над 300 бр. проби, минераложки и седиментоложки изследвания за характеризирането на седименти от разрезите „Св. Никола-Бриз“ (Варна) и „Зеленка“ (с. Българево, Добричко).

По *задача 1.6.9* са осъществени 16 командировки по Северното и Южното Черноморие и прилежащите територии за изследване на морските и речни тераси (288 човекодни), по време на които са изследвани над 40 геоложки обекти, сред които 12 плажни ивици, 28 разкрития на морски тераси, 11 разкрития на речни тераси и 12 археологически обекта, свързани с холоценската история на черноморската ивица. В лаборатории са направени 42 седиментоложки анализа на плажни пясъци и 88 микрорепалеонтоложки анализа (фораминифери и варовит наупланктон).

Използван е дрон за ортофотодокументиране на част от Бургаските езера, като получените изображения са обработени с компютърен софтуер с цел моделиране на релефа. Създадена е база данни, която е използвана за очертаване на холоценските тераси, както и 3D модел на релефа около Бургаските езера.

По задача 1.6.12 в циркус Седемте Рилски езера през 2019 г. и 2022 г. са събрани съвременни бентосни диатомейни проби (епилити). Основната цел е била да се съберат нови епилитни проби в три пункта от периферията на езерата, за да могат да се осъществят мониторингови наблюдения. Анализирани са по 3 епилитни проби от езерата Сълзата, Окото, Бъбрека и Близнака, а от Рибното, Детелина и Долното езеро е анализирана по една проба, като общият брой на пробите е 30.



**Фигура 2.** Мониторингови станции за пробонабиране в района на Седемте Рилски езера



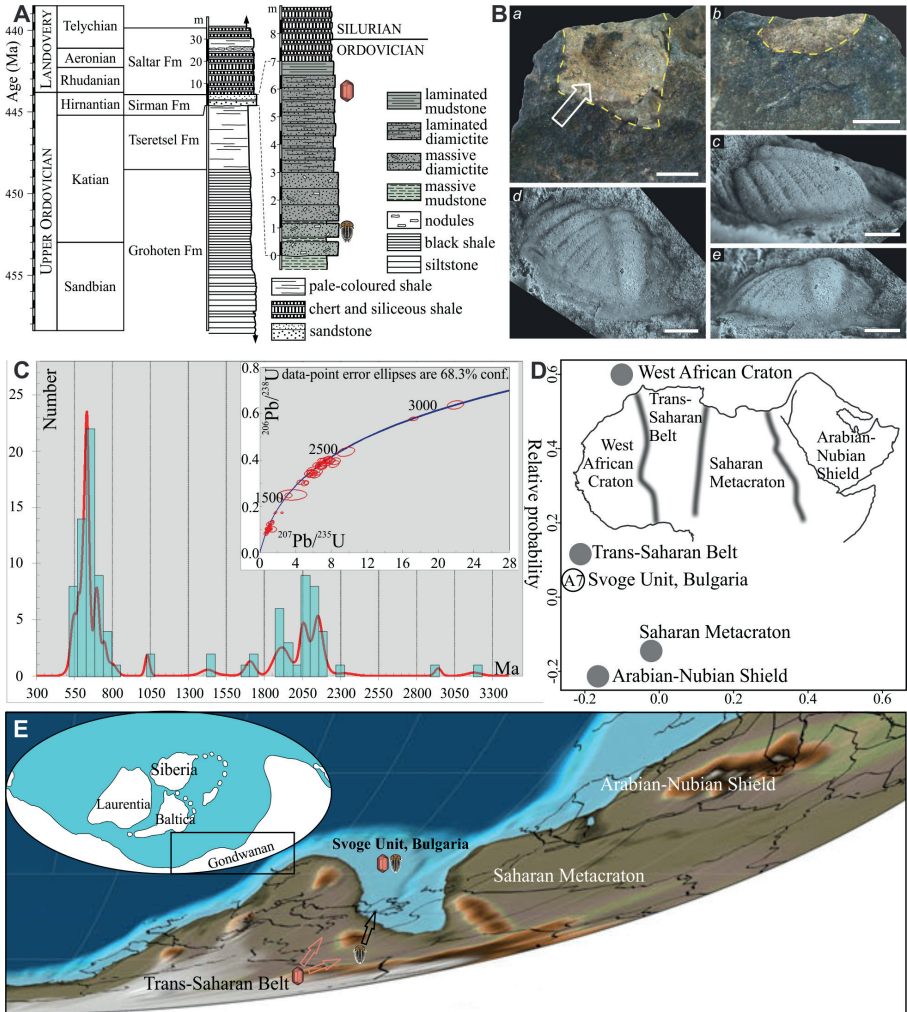
## Получени фундаментални резултати

В хода на изследванията през годините всяка от разработваните задачи получи конкретни нови научни резултати и изпълни набеязаните дейности от работната програма, както и планираните индикатори по Програмата. В голямата си част те са публикувани и популяризирани сред научната общност в статии в престижни научни списания, доклади на научни форуми и презентации на научни събития. В изложението по-долу научните колективи са обобщили и синтезирали накратко най-важните фундаментални резултати, като всеки от тях носи съответното авторство.

**Глобално застудяване в края на ордовишкия период (444 млн. г.)** (Валери Сачански, Искра Лакова, Полина Андреева, Христо Киселинов)

- За първи път в България са установени силурски филокаридни ракообразни.
- За първи път се установяват две нови за Сърбия палеозойски фосилни групи – евриптериди и филокаридни ракообразни.
- За първи път е доказана подхранващата провинция на отложените в България след глобалното застудяване в края на ордовишкия период диамиктити – източната част на Транссахарския пояс в Северна Африка (фиг. 1). Доказателствата, които я подкрепят, са от изследване възрастта на цирконовата популация и от уникалната находка на трилобит в диамиктитен къс – *Dreyfussina cf. lybica*, един таксон известен от арката Ал Караф, Либия.

**Фигура 3. А** – литоложка колонка на диамиктитите, отложени в България след глобално застудяване в края на ордовишкия период (по Chatalov 2017) със стратиграфската позиция на образеца, съдържащ преотложен фосил, и образеца, изследван за детритни циркони; **В** – *Dreyfussina cf. lybica*: а, б – диамиктитен къс в пясъчниците на Сирманската свита (Сачански, Тенчов 1993), съдържащ негативен отпечатък на трилобитен пигидиум; *с, d, e* – латексова отливка на негативния отпечатък от трилобитния пигидиум; **С** – разпределение на възрастите на детритните циркони; **Д** – многоизмерна диаграма на мащабиране (MDS) на анализирани проби в сравнение с потенциални източници на подхранващата провинция в Северна Африка; **Е** – палеогеографска реконструкция (Scotese, 2014) с вероятната позиция на Свогенската единица от Балканския терен (Dabovski, Zagorchev 2007; Yanev 2000) и източниците на детритните циркони и преотложения трилобит



**Глобални събития *Kellwasser* и *Annulata* в горнодевонски разреди от България (372 млн. г.) (Илияна Бончева, Валери Сачански, Полина Андреева)**

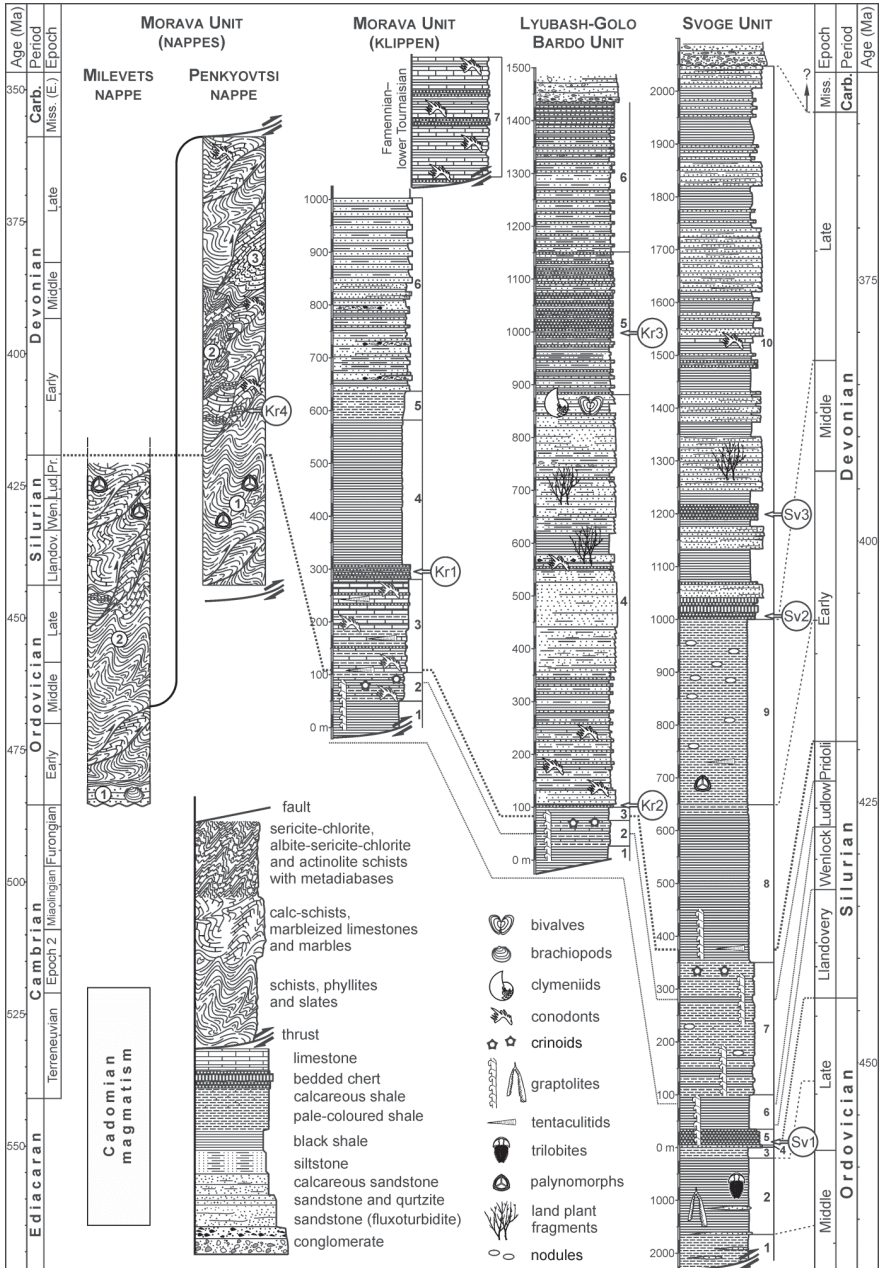
– Установена и описана е проявата на следните глобални събития в горнодевонските разреди на България: Klonk, Kellwasser, Annulata и Hangenberg въз основа на фаунистичния състав, обитавал аноксичните,

дълбоко пелагични морски обстановки преди 372 млн. г. Проявата на тези събития в края на девонския период във флишки трог не е описвана досега и представлява интересен факт, който провокира интерпретации, касаещи прехода между европейските и азиатските къснодевонски басейни. Всички получени резултати са отразени в публикации.

– За първи път в България се прави геохимичен и седиментоложки анализ на палеозойски лидити с девонска възраст. Повечето от палеозойските лидити от Своге, Любаш – Голо бърдо и Моравската тектонска единица имат високо съдържание на  $\text{SiO}_2$ , което показва биогенен произход на силициевия диоксид. Изчислените съотношения  $\text{Si}/(\text{Si}+\text{Al}+\text{Fe}+\text{Ca})$  и графиката на диаграмата  $\text{Al}-\text{Fe}-\text{Mn}$  при нехидротермална основа подкрепят това твърдение. Притокът на теригенен материал също е важен и може да се предположи смесен биогенен/кластичен източник на силициев диоксид. Въз основа на получените данни и досегашните публикувани палеогеографски интерпретации можем да заключим, че изследваните силурски и девонски лидити от Западна България са формирани на склона и външния шелф на пасивния ръб на пери-Гондвана.

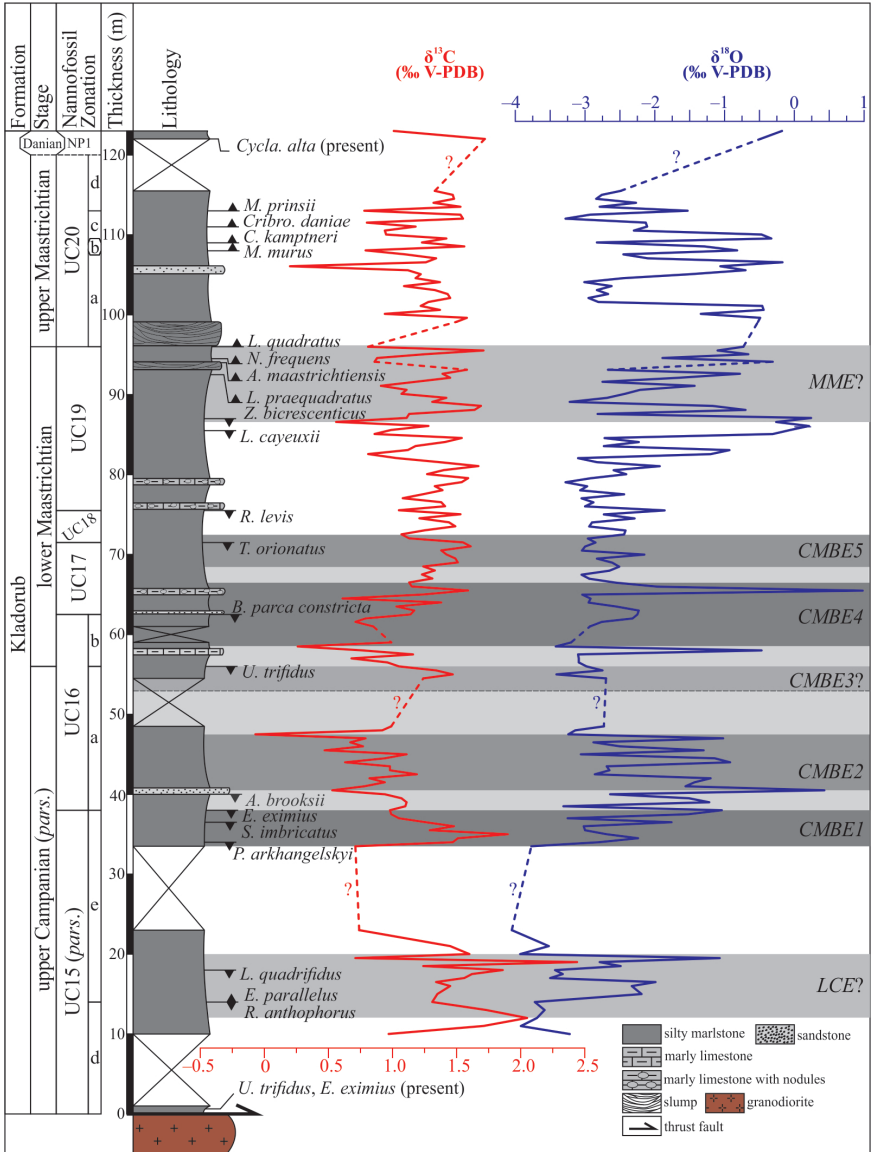
– Направен е и детайлен микрофациален анализ на сондажен разрез Преславци-2. Той предоставя много полезна информация за палеоклиматичните промени през девонския период в Мизийската платформа преди присъединяването ѝ (акрецията) към Руската платформа в края на визейския век.

**Фигура 4.** Литоложки колонки на морските палеозойски скали в изследваните тектонски единици със стратиграфска позиция на образците от силицитни скали (по Boncheva et al. 2023)



**Кампан-мастрихтско климатично захлаждане (73 – 71 млн. г.)**  
(Кристалина Стойкова, Георги Грънчовски, Марин Иванов)

За пръв път в България, в разреза при с. Кладоруб, с биостратиграфски и изотопно-геохимични данни е установено кампан-мастрихтското събитие (СМВЕ), маркиращо първото значително глобално захлаждане на Земята в края на кредата (Stoykova et al. 2020, фиг. 5). Детайлната нанофосилна биостратиграфия доказва пълнотата на този разрез с последователност от зоните UC15e<sup>TP</sup> до UC20d<sup>TP</sup> (Granchovski 2019). Изотопно-геохимичното изследване е проведено на черупки от бентосни фораминифери. Изотопната крива на въглерода,  $\delta^{13}\text{C}$ , показва ясно изразен негативен тренд, на фона на който са развити пет малки позитивни стадия (СМВЕ1 до СМВЕ5). Максималната стойност на СМВЕ1 (1.90‰) бележи началото на събитието, а в СМВЕ2 е установена минималната стойност в цялото събитие (-0.07‰). Интересно е да се отбележи, че измежду всички известни досега локалитети в света българският разрез се характеризира с най-голям магнитуд на изотопния екскурс – 1.97‰. Границата кампан-мастрихт, прокарана по изчезването на *Uniplanarius trifidus*, съвпада с горната граница на стадия СМВЕ3. В изотопния запис на разреза при Кладоруб по всяка вероятност са изявени и две други събития, ограждащи СМВЕ, а именно къснокампанското (LCE) и средно мастрихтското събитие (MME). В хода на проучванията са получени биостратиграфски и изотопно-геохимични данни за изявата на СМВЕ в разреза северно от гр. Бяла, Варненско, които са в процес на обобщаване и публикуване.



Фигура 5. Кампан-мастрихтското събитие в разреза при с. Кладоруб, Видинско (Stoykova et al. 2020)

**Палеоцен-еоценски термален максимум** (56 млн. г.) (Кристаллина Стойкова, Марин Иванов, Елена Колева-Рекалова)

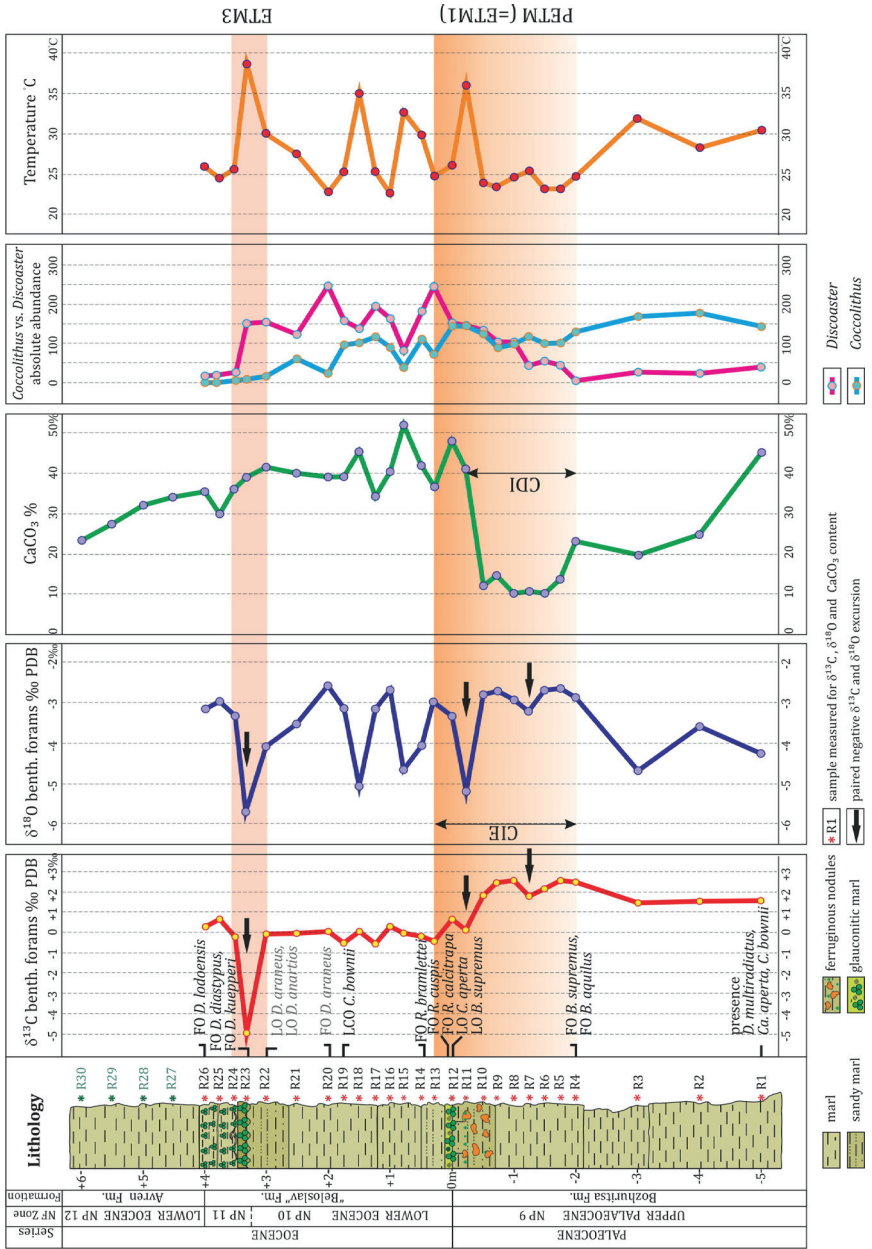
– Чрез интегриране на нанофосилна биостратиграфия, данни за изотопното съдържание ( $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ ) в черупки от бентосни фораминифери и литология (съдържание на карбонати) е доказана изязвата в България на две отделни глобални хипертермални събития през ранния еоцен: палеоцен-еоценски термален максимум, РЕТМ (= ЕТМ1, 56 млн. г.) и ЕТМ3 (= „Х“ събитие, 52.84 млн. г.) (Stoykova et al. 2023, фиг. 6).

– За първи път в България се доказва едно от ранноеоценските глобални хипертермални събития – ЕТМ3 (Х-събитието). Това събитие предшества ранноеоценския климатичен оптимум (ЕЕСО) – епохата с доказано най-горещия климат в неозойската история на Земята.

– Данните за палеотемпературата на морската вода, получени от стойностите на  $\delta^{18}\text{O}$  във фораминиферните черупки, варират между  $23.18^{\circ}\text{C}$  и  $35.73^{\circ}\text{C}$  по време на РЕТМ, достигайки максимум от  $38.43^{\circ}\text{C}$  по време на „Х“ събитието. Освен това, по време на Х-събитието (ЕТМ3) е установено отлагане на минерала арагонит, характерен за прибрежни обстановки със силно изпарение и висока температура на морската вода (Stoykova et al. 2023).

**Фигура 6.** Криви на изотопите ( $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ ) в черупки от бентосни фораминифери, съдържание на  $\text{CaCO}_3$  в скалите, съотношение на топлолюбиви и студенолюбиви родове нанофосили (*Coccolithus* versus *Discoaster*) и палеотемператури на морската вода в разрез Рибен, Централна Северна България (по Stoykova et al. 2023).





**Еоцен-олигоценски суперерупции в Родопския масив и тяхното отражение върху регионалните и глобалните климатични и биотични промени (34 – 33 млн. г.)** (Петър Марчев, Кристалина Стойкова, Рая Райчева)

– Очертана е областта на разпространение на вулканичните продукти от трите еоцен-олигоценски ерупции на вулканите в Родопите в Централна и Източна Европа.

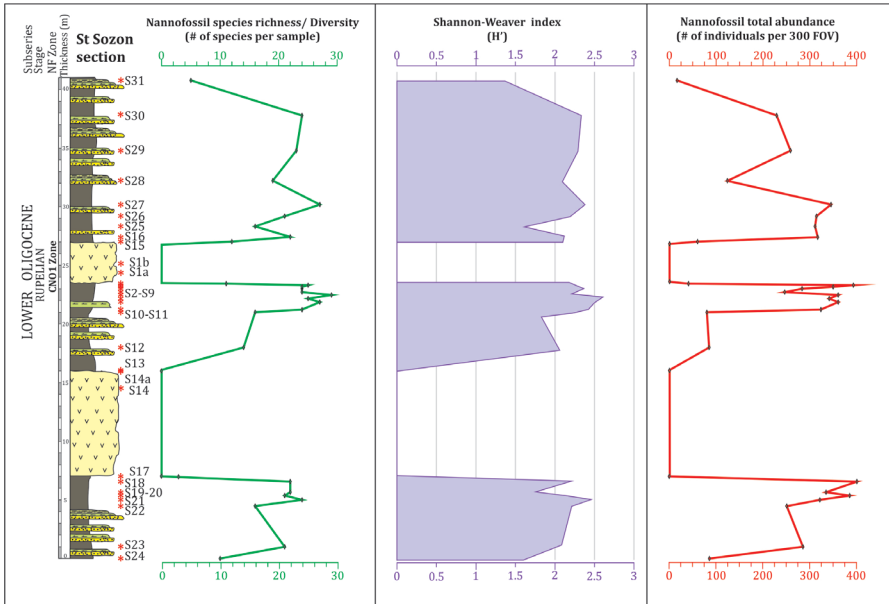
– За първи път, на базата на прецизни геохронологички датирания с Ar/Ar и U-Pb методи, вулканичните продукти от отделните ерупции в Родопите около границата еоцен-олигоцен са датирани на 34.74 Ma (Местенска), 33.2(3) Ma (Дъждовнишка); 32.7 Ma (Боровишка); 31.6 – 31.8 Ma (Перелишка). Те се корелирани с вулкански туфи от други разрези в Паратетиса и Тетиса.

– Получени са оригинални резултати за влиянието на вулканичните изригвания върху съобществата, продукцията и изобилието на морския варовит нанопланктон. На базата на количествени изследвания на разреза на о-в Лимнос, Созон, е установено, че след всяко вулканично изригване се наблюдава увеличаване на количеството на еутрофните видове, показателно за значително увеличение на наличието на хранителни вещества в повърхностните морски води. Видовото разнообразие намалява във времето, както и количеството на топлолюбивите олиготрофни таксони (дискоастери, хеликосфери и сфенолити). След ерупциите доминират видове, предпочитатщи умерена температура и богата на хранителни вещества морска вода (фиг. 7).

**Климатични промени в Източния Паратетис през миоцена (23 – 5 млн. г.)** (Надя Огнянова, Елена Колева-Рекалова, Марлена Янева, ГИ-БАН, Петър Николов)

В резултат на проведените изследвания на двата основни обекта – разрез „Св. Никола –Бриз“ и разрез „Зеленка“, са получени следните нови резултати за климатичните промени в Източния Паратетис (Koleva-Rekalova et al. 2020, 2021).

– Климатът в края на конкския век (преди около 13 – 12.5 млн. г.) е бил топъл, с най-малко три сухи периода, през които алкалността и съдържанието на CaCO<sub>3</sub> се повишават значително и условията на живот на молуските и диатомеите се влошават, което благоприятства изграждането на серпулидни биохерми (Yaneva et al. 2022).



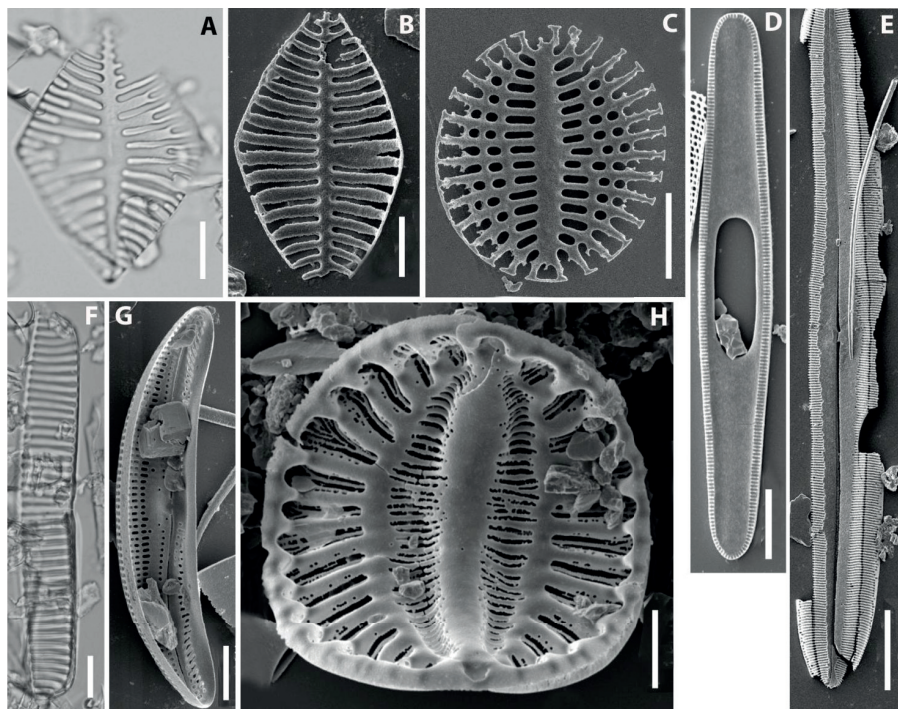
**Фигура 7.** Видово разнообразие, Shannon-Weaver diversity index ( $H'$ ) и общо изобилие на варовит нанопланктон в проби от горните 40 m на разрез „Со-зон“, о-в Лимнос, Гърция, включващи двата туфови пласта на Дъждовнишката ерупция

– През бесарабския подвек на сармата (преди около 12 – 10 млн. г.) е установен период на силна аридизация на климата. Той се доказва с рязкото намаляване на фаунистичното и флористичното разнообразие, което води до появата и развитието на специфични серпулидни био-херми в обхвата на Тополската свита. В условията на ариден климат се повишава изпарението, което води до увеличаване на солеността и алкалността на морската вода, разтваряне на диатомейните черупки и отлагането на арагонитни седименти. Около границата бесараб-херсон (преди около 9.6 млн. г.) в разрез „Зеленка“ настъпва временно осушаване на района, последвано от заливането му с пресни води, носещи глинест материал от сушата, което затруднява отлагането на арагонит.

– През херсонския подвек (преди около 9.6 – 7.6 млн. г.) настъпва хумидизация на климата, която води до намаляване солеността и рН на морската вода и прекъсване на арагонитната седиментация. Навлизане-

то на пресни води внася и глинести минерали от сушата, което създава подходящи условия за запазване на диатомейните черупки. Установени са два характерни диатомейни комплекса в изследваните разрези на Тополската свита – съответно за бесарабския и за херсонския подвек (Ognjanova-Rumenova et al. 2023).

В заключение, през бесарабския подвек се доказва ариден климат с редки хумидни интервали, а през херсонския подвек се установява сезонен климат – сухо лято/влажна зима.



**Фигура 8.** Характерни диатомейни таксони от бесарабския подетаж на сармата в разрез „Зеленка“: **A** – *Achnanthes baldjikii* (Bright) Grun., **B** – *Achnanthes baldjikii* var. *podolica* Miss., **C** – *Cocconeis scutellum* var. *inaequalipunctata* Miss., **D** – *Grammatophora insignis* Grun., **E** – *Caloneis liber* var. *zagrebiensis* Jurilj, **F** – *Navicula cancellata* Donk., **G** – *Amphora ognjanovae* Metzeltin et Levkov, **H** – *Campylodiscus fastuosus* var. *baldjikiana* (Grun.) Van Landingham

## Холоценските флукуации на морското ниво по българското Черноморско крайбрежие и въздействието им върху древните цивилизации (Димитър Синьовски)

Получените нови резултати хвърлят светлина върху връзката между геоложките и археологическите данни. В повечето случаи те съвпадат, но има и необясними исторически факти, които се разминават с установените флукуации на морското ниво. Направените изследвания на последния морски етап в развитието на Черно море – холоценския (след последната ледникова епоха), потвърдиха присъствието на установените от Федоров (1956, 1959) Новочерноморска и Нимфейска трансгресия по Българското Черноморие. Данните за високо морско ниво в интервала между 6000 и 3000 г. съвпадат с добре изразената Новочерноморска тераса на 4 – 5 m над съвременното морско ниво, върху която са построени градовете Поморие, Китен и някои квартали на Бургас. По време на Фанагорийската регресия в интервала преди 2500 и 1800 г., когато морското ниво пада до 3 – 4 m под съвременното, са построени потопените днес останки от древния Созопол, както и античните вълноломи при Одесос и Поморие (Рехата). Следва Нимфейската трансгресия, която е довела до повишаване на морското ниво до 2 m над съвременното, което трудно се забелязва по крайбрежната ивица. Идентифицирането на Нимфейската тераса е по-отчетливо по бреговата линия на Бургаските езера, която е защитена от вълноприбойната дейност на морето. След XIV век настъпва т. нар. „малка ледникова епоха“ и морското ниво пада до съвременното. Отлично доказателство за разликата между нимфейското и съвременното морско ниво е Аспаруховият вал в кв. „Аспарухово“ на Варна, който в построен като отбранително съоръжение до морския бряг, а сега е на 500 m разстояние от бреговата линия. Нимфейската брегова ивица може да се наблюдава по бреговете на Бургаските езера (фиг. 8Б). Съвпадение между историческите и геоложките факти има и при античното пристанище Деултум (Дебелт), което е било върху Новочерноморската тераса (фиг. 8А).





А

Б

**Фигура 9:** А – Новочерноморската тераса западно от Мандренския лиман по левия бряг на Средецка река при с. Дебелт; Б – Нимфейската тераса при с. Езерово, около езерото Вая

Археологическите артефакти от древните римски пристанища Деултум при с. Дебелт и Скафида северно от с. Димчево, показват високо ниво на Мандренския лиман в началото на новата ера, осигуряващо широка връзка с Черно море. Това доказва, че морското ниво е било по-високо от съвременното доста преди началото на Нимфейската трансгресия през Средновековието. Това геоложко събитие, случило се съвсем наскоро в човешката история, но много преди индустриалната революция, е естествен процес, с който човечеството не може и няма нужда да се бори.

### **Палеолимнологично проучване на кватернерни езерни седименти от високопланински езера в Рила и Пирин планина (Надя Огнянова, И. Ботев)**

Ефектът от антропогенното влияние през последните пет години е осезаем и в двата основни обекта на изследване – езерата в циркус Седемте Рилски езера, Рила и езерото Безбог, Пирин. За съжаление, обработването с *Ranunculus aquatilis* L. и *Sparganium angustifolium* Michx. е видимо и напредва в по-плитките езера Трилистника, Рибното и Долното, както и в откритата част на Близнака. Същото важи и за езерото Безбог, чиято крайбрежна зона е силно ангажирана от тази водна растителност.

– Алкалността, рН и проводимостта са основните химични ха-

рактеристики, определящи развитието на диатомейните асоциации в изследваните езера от циркуса Седемте Рилски езера. Увеличаването на планктонните диатомеи в езеро Сълзата може да бъде повлияно и от промените в режимите на ледената покривка. Поради ограничения брой места (4) и ограничените градиенти на избраните от нас езера (т.е. олиготрофни езера от скален тип) заключенията ни за промените в режимите на ледената покривка могат да се считат за предварителни. Необходимо е по-нататъшен мониторинг, за да се оценят посоката и размерът на минали и бъдещи промени и да се изследват ефектите от нарастващото натоварване на атмосферните замърсители. Уточнени са диатомейните видове, включени в Червения списък на Европа, както появата и развитието на инвазивни видове.

За езерото *Безбог* могат да се очертаят следните промени в палеоклимата в интервала от преди  $9000 \pm 60$  до преди  $2196 \pm 30$  години.

- През ранния холоцен климатът е неблагоприятен за развитието на диатомейната флора, ледената покривка на езерото е продължителна, което е причина за увеличеното количество на хризофитовите цисти (Ognjanova-Rumenova, 2023).
- През ранния среден холоцен количеството и разнообразието на диатомейните видове значително се увеличава и доказва по-високата диатомейна продуктивност. Увеличената степен на LOI (загуба при налягане) вероятно е резултат на внос от разграден органичен материал по време на топене и/или от по-висока продуктивност.
- През късния среден холоцен обилието на планктонния вид *Aulacoseira valida* (Grun.) Krammer доказва, че естественият процес на еутрофикация на езерото продължава.

Дълбоките, стратифицирани и изолирани планински езера най-силно отразяват преките климатични въздействия в резултат на климатичните промени, тъй като диатомейните съобщества варират пряко в реакцията си спрямо климатичната промяна.



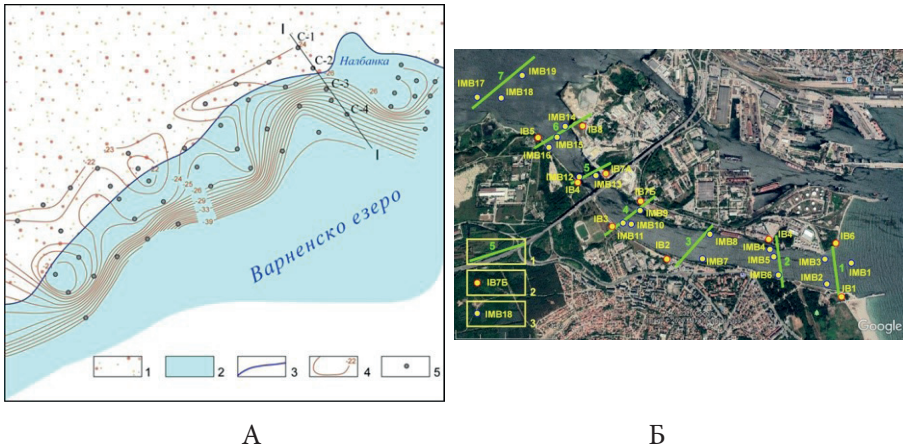


**Фигура 10.** Мониторингови изследвания в езерото Безбог, Пирин

### **Получени приложни резултати (Димитър Синьовски)**

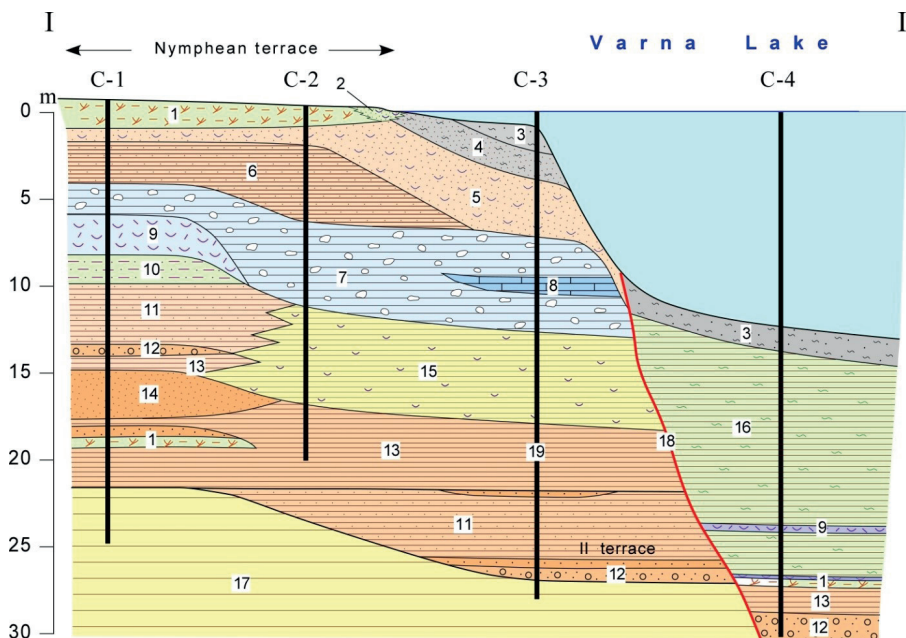
Във връзка с удълбочаването на плавателния канал между Варненското езеро и Черно море бяха използвани наличните данни за колебанията на морското ниво през холоценската епоха. След Древночерноморската трансгресивна фаза преди 9000 г. нивото на Черно море се повишава до около  $-20$  m. Приливът на солена вода през Босфора предизвика удавяне на речните устия и образуване на лимани. Вероятно тогава започва натрупването на холоценските отложения на новообразувания Варненски лиман. Утайките на дъното на северния бряг на езерото са проучени подробно по информация от повече от 250 сондажа, направени по време на инженерно-геоложките проучвания на „Транспроект“ за изграждането на пристанището.

При удълбочаването на плавателния канал през 2019 г. се наложи да бъде намерен вариант за депо на драгираните утайки, при което добър вариант се оказаха подводните тераси. Във връзка със строителството на пристанището, на северния бряг на Варненското езеро е съставена карта на дъното въз основа на над 250 сондажа, на която се очертават ясно изразени тераси. Най-ниската разпозната тераса в дънните утайки е на дълбочина от  $-28$  до  $-35$  m, но при Аспаруховия мост тя достига до  $-40$  m. Основата на втората, по-висока тераса в езерните наслаги, която е много добре изразена, от запад на изток потъва от  $-19$  до  $-27$  m (фиг. 11А).



**Фигура 11.** А – контури на повърхността на алувиалния чакълен пласт на втора тераса, следващ подлежащия цокъл на олигоценската тераса (по Евстатиев и Манов, 1988, с доп. данни): 1 – суша; 2 – акватория на Варненското езеро; 3 – брегова линия; 4 – контури на наносния чакъл на втората подводна тераса; 5 – сондажи; I-I профил през холоценските седименти. Б – сателитна карта на профилите на сондажите през канал 1, 1 – профил; 2 – сондаж на сушата; 3 – морски сондаж

На фиг. 12, по профил I-I от фиг. 11А (по Евстатиев и Манов, 1988), е показан напречен разрез на холоценските седименти, отложени на дъното на езерото. На Нимфейската тераса, заобикаляща бреговата ивица, има тънък торфен слой, който се е образувал през Средновековието по време на високото морско ниво и продължава своето формиране до наши дни (фиг. 12-1). В крайбрежната зона се образуват пясъци с натрупвания на мидени черупки (фиг. 12-2). Най-младите седименти, които в момента се формират на дъното на Варненското езеро, са водонаситените тини (фиг. 12-3) и песъчливите водонаситени тини (фиг. 12-4). Те отговарят на литоложки тип 1 – песъчливо-глинести глини до песъчливо-глинести глини с редки дребни чакъли, установени при инженерно-геоложкото проучване, проведено от предприятие „Транспортно строителство и възстановяване“ в горната част на всички проучвателни брегови сондажи с дебелина от 0.50 до над 3.00 m.



**Фигура 12.** Геоложки разрез по профил I-I (на фиг. 11А) западно от залива Налбанка на северния бряг на Варненското езеро (по Евстатиев и Манов, 1988, с доп. данни): 1 – торф; 2 – съвременни крайбрежни отложения – пясъчни и мидени натрупвания; 3 – наситена с вода тиня; 4 – пясъчна водонаситена тиня; 5 – пясъци с мидени черупки; 6 – пясъчлива глина с пясъчни слоеве; 7 – варовити отложения (езерна креда); 8 – органогенен варовик; 9 – мидени черупки; 10 – терасови отложения; 11 – сиви пясъчливи глини; 12 – алувиален чакъл; 13 – алувиални глини; 14 – пясъци; 15 – сиво-зелена глина с мидени черупки; 16 – глинеста кал; 17 – олигоценски цокъл (Русларска свита): глини, пясъци и глинести пясъчници; 18 – разлом; 19 – сондаж

Надолу има пясъци с мидени черупки с дебелина под торфа до 1 m, но под плитката част на езерото до 5 m (фиг. 12-5). Те отговарят на литоложки тип 2 – дребнозърнест пясък, на места глинест, с дребни до средно едри чакъли и натрошени мидени черупки, установени при инженерно-геоложките проучвания на „Транспортно строителство и възстановяване“ АД по цялото протежение на канал 1. В залива Налбанка тези пясъци продължават до рязкото удълбочаване на дъно-

то поради разломната структура, маркираща северния бряг. Под тях има песъчливи глини с пясъчни пластове (фиг. 12-6). По-надолу има варовикови отложения („езерна креда“) с дебелина от 2 – 3 m под Нимфейската тераса до 5 – 6 m под крайбрежната зона (фиг. 12-7). Вътре в тях има леща от органогенен варовик с дебелина до 2 m (фиг. 12-8). Следват 3 m консолидирани мидени черупки (фиг. 12-9), 2 m терасови отложения (фиг. 12-10), 4 m сиви песъчливи глини (фиг. 12-11), тънки алувиални чакъли (фиг. 2-12), отново тънки глини (фиг. 12-13), 3 – 4 m пясъци (фиг. 12-14) и алувиални глини (фиг. 12-13) със слой от пясък и торф, лежащи директно върху олигоценската подложка (Русларска свита).

### **Съдействие на държавни и общински органи, стопански субекти, НПО и др.**

#### *1. Пристанище Варна*

При удълбочаването на канал 1 и канал 2 между Белославското и Варненското езеро и Варненското езеро и Черно море бяха изпълнени дейности по проекта за драгиране на дъното „Проектиране и удълбочаване на канал №1 и канал 2, пристанище Варна“. Основните строителни работи, предвидени по проекта, включват три групи мероприятия:

- драгажни работи по канал 1, канал 2 и Обръщателен кръг на терминал Варна – Запад;
- брегоукрепителни работи – реконструкция на съществуваща заскалявка по бреговете на каналите в участъците, където е необходимо;
- изместване (вкопаване) на дюкерите по дъното на каналите, които са с цел осигуряване на навигационна дълбочина от -14.0 m (вкл. 0.50 m запас).

Основната консултантска дейност по този проект включваше оценка на капацитета на депо „Налбанка“ за отсипване на земни маси и дънни утайки, получени от драгирането на подходните канали и акваторията на Пристанище Варна.

#### *2. Община Поморие*

Във връзка с разработването на геопарк „Бургаски езера“ е оказано съдействие на Община Поморие за идентифициране и описание на геотопи с научна и естетическа стойност за целите на Геопарка. Аранжи-

ран е геоложки музей в посетителския център на Поморийското езеро. Преописани са също така геоложките феномени по Южното Черноморие, свързани с дюнните образувания по плажните ивици, които са включени в Регистъра и кадастъра на геоложките феномени в България и Регистъра на природните забележителности.

### 3. МОСВ

Участие в комисии по експертизи за: произхода на пясъците в местността Корал, община Царево; къмпинг „Юг“, община Царево; морски плаж „Лозенец“; морски плаж „Слънчев бряг-юг“; морски плаж „Слънчев бряг-централен“; морски плаж „Каваци-север“ и „Каваци-юг“; местността Герена, община Созопол; комплексна съдебно-техническа експертиза за Районния съд – гр. Царево.

### Международно сътрудничество

Благодарение на получените резултати в хода на проучванията по Програмата, задача „Глобално застудяване в края на ордовишкия период“, стана възможно организирането на екскурзия в рамките на Joint ISSS-SDS Meeting, “Timeline of Silurian and Devonian environmental and biotic changes”, 12 – 17 September 2024, Sofia, Bulgaria. Съвместната среща на Международната подкомисия по стратиграфия на силура (ISSS) и Подкомисията по девонска стратиграфия (SDS) се организира за първи път в България.

В рамките на задача „Холоценските флукутации на морското ниво по българското Черноморско крайбрежие“ е осъществено сътрудничество с колектив от Московския държавен университет „М. В. Ломоносов“ и Руската академия на науките по съвместен проект, чийто предмет частично се припокрива с предмета на задачата. В резултат на това сътрудничество в част от публикациите като съавтори участват и руски колеги.

**Разпространение и популяризация на резултатите** (ОБЩ брой статии, най-важни статии)

Общият брой публикувани статии за шестте години на програмата надхвърля 53 бр. Участията на различни научни форуми за представяне на резултатите са над 66. С финансовата подкрепа от Програмата беше издадена една монография на английски език – Stoykova (2022).

Най-важните публикувани статии в престижни международни списания са посочени в списъка по-долу:

Boncheva, I., Andreeva, P., Sachanski, V., Yaneva, M., Georgiev, S., 2023. Palaeozoic

(Silurian–Devonian) cherts from the Balkan Terrane, western Bulgaria: geochemistry, biostratigraphy and depositional settings. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, <https://doi.org/10.1007/s12549-023-00578-y>.

Georgiev, S., Sachanski, V., Andreeva, P., Kiselinov, H., Balkanska, E., Lakova, I., Tanatsiev, S., 2022.

Trans-Saharan Belt provenance: a potential source for the Ordovician succession of the Balkan Terrane (Svoге Unit) – clues from LA-ICP-MS detrital zircon dating analysis. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 75, no. 2, pp. 234 – 247.

Grabowski, J., K. Stoykova, H. Wierzbowski, P. Vojcik-Tabol., 2021.

Upper Berriasian chemostratigraphy, clay minerals and calcareous nanofossils of the Barlya section (Western Balkan, Bulgaria): implications for palaeoclimate and productivity changes, and stratigraphic correlations across the Alpine Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, no. 567, p. 110252. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110252>.

Radonjić, M., Sachanski, V., 2023.

First Palaeozoic phyllocarid crustaceans and pterygotid eurypterids in Serbia. – *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences* vol. 76, no. 8, pp. 1243 – 1250.

Ognjanova-Rumenova, N., Wojtal, A., Sienkiewicz, E., Botev, I., Trichkova, T., 2019.

Biodiversity of high mountain lakes in Europe with special regard to the Rila Mountain (Bulgaria) and Tatra Mountain. – In: Seckbach J. & Gordon, R. (eds.) *Diatoms: Fundamentals and Applications (DIFA)*, Volume 1 in the series: Diatoms: Biology & Applications, chapter 15, pp. 335 – 355. Wiley-Scrivener, Beverly, MA, USA

Sachanski, V., 2020.

The first Silurian phyllocarid crustacean remains in Bulgaria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 8, pp. 1106 – 1110.

Sinnyovsky, D., 2023.

Evaluation Features of Fossil and Coastal Geosites: Selecting Assessment Criteria for Geotourism Purposes. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 76, no. 2, pp. 247 – 255.

Sinnyovsky, D., Gorbach, A., Gorbach, V., Sinnyovska, D. 2023.

The Cold and the Heat of the Earth. *Geoheritage*, vol. 15, no. 115, pp. 1 – 33.

Stoykova, K., 2022.

*Nannofossil stratigraphy and global events in the Paleocene and Lower Eocene of northern Bulgaria*. Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, ISBN: 978-619-245-125-7, DOI:10.7546/NSGEPLENB.2022, 296 p.

Stoykova, K., G. Grančovski, C. Ullmann. 2020.

First data on the expression of the Campanian-Maastrichtian boundary event in Bulgaria: calcareous nannofossil and carbon isotope record. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 12, pp. 1310 – 1331. <http://www.proceedings.bas.bg/>.

Stoykova, K., E. Koleva-Rekalova, T. Vennemann, M. Ivanov. 2023.

New data on the expression of the early Eocene hyperthermals in northern Bulgaria: Riben section revisited. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 76, no. 11, pp. 1687 – 1697. <http://www.proceedings.bas.bg/>



**БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ЕКОСИСТЕМНИ ФУНКЦИИ И  
КАЧЕСТВО НА ЖИЗНЕНАТА СРЕДА**

Доц. д-р Анна Ганева, проф. д-р Ива Апостолова,  
доц. д-р Борис Асьов, проф. д-р Светлана Николова,  
проф. д-р Васил Попов, доц. д-р Владимир Владимиров,  
доц. д-р Ина Анева, доц. д-р Лъчезар Пехливанов,  
гл. ас. д-р Стефан Казаков, доц. д-р Десислава Петкова-Варадинова  
доц. д-р Теодора Тодорова, проф. дн Бойко Георгиев

*Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания,  
Българска академия на науките*

гл. ас. д-р Калина Пачеджиева,

*Биологически факултет, Софийски университет „Св. Кл. Охридски“*

**проф. д-р Стефан Цаковски**

*Факултет по химия и фармация,  
Софийски университет „Св. Кл. Охридски“*

**проф. д-р Валя Василева**

*Институт по физиология на растенията и генетика,  
Българска академия на науките*

доц. д-р Станислава Грозева-Тилева

*Институт по зеленчукови култури „Марица“*

**проф. д-р Драгомир Вълчев**

*Институт по земеделие - Карнобат,*

гл. ас. д-р Симеон Крумов,

*Институт по земеделие-Кюстендил*

**Основни цели и задачи, обекти на изследване**

Състоянието на биоразнообразието има пряко значение за формиране на жизнената среда и подобряване качеството на живот, а то, от своя страна, е в пряка връзка с абиотични фактори, като физикохимичен състав на почвата, валежи, температурни колебания. В периода 2019 – 2024 г. бяха осъществени редица научноизследователски дейности, кои-

то имат за цел:

- оценка на състоянието на природни местообитания, уязвими на климатични промени;
- оценка на състоянието на растителни и животински съобщества;
- оценка на състоянието на популации на видове растения, животни и гъби с акцент върху уязвимите на климатични промени и такива с ограничено разпространение в страната, напр. видове от влажните зони, видове, класифицирани като уязвими и застрашени съгласно международните стандарти;
- прогнози за навлизане на нови инвазивни видове, методи за контрол, смекчаване на въздействието и оценка на риска;
- оценката на ресурсите от лечебни растения, гъби, рибни запаси;
- търсене на устойчиви сортове (генотипове) културни растения, изясняване на генетичните основи на резистентността на важни селскостопански култури към условия за засушаване и повишени температури чрез използване на белтъчни, хромозомни и ДНК маркери за идентификация и оценка на генотипове с подобрена толерантност;
- издирване на стари сортове овощни култури;
- индикаторната роля на растителни видове за оценка на състоянието на антропогенно повлияни и замърсени почви.

Обект на изследване бяха торфищни местообитания, редки растителни и животински съобщества, видове растения, гъби и животни, представляващи ресурсен интерес, инвазивни видове, както и културни видове със селскостопанско значение – овощни, житни, зеленчукови.

### **Изследователски методи**

Предвид спецификата на обектите и целите на проучванията бяха приложени утвърдени в науката подходи за теренни и лабораторни изследвания. За оценка на спецификата на тревните растителни съобщества бяха залагани пробни площи с размер 4x4 м, в които се определят видовият състав и проективното покритие на видовете. Приложен е ординационен (Detrended correspondence analysis, DCA) и клъстерен анализ, които дават възможност за проследяване на флористични и екологични разлики, изразени между растителната покривка в пло-

щадките. За ежегодния мониторинг на растителни видове са използвани елементи от методиката на глобалната инициатива за мониторинг във високопланинските местообитания GLORIA – GLObal Observation Research Initiative in Alpine Environments (<https://biodiversity.eurac.edu/gloria/>). Прилепите са регистрирани чрез използване на акустични методи – записи на ехолокационни сигнали и последващо определяне чрез математични алгоритми, налични в програмите Kaleidoscope и Batscope. Едрите и средните по размери бозайници са регистрирани с фотокапани. За уловените видове дребни бозайници е изчислен индекс на улавяне, базиран на броя уловени индивиди от даден вид за капанонощ (Wilson et al. 1996). Оценките на местообитанията са правени на основата на сателитни изображения от серията Landsat. Ефективността на детайлните проучвания чрез сателитните снимки се повишава при съвместното им използване с данни от аерозаснемане с дроне. Събраните данни за разпространението и местообитанието на видовете са използвани за съставяне на прогностични статистически модели за оценка на пространствената екологична ниша на видовете. Когато в моделите са включени и климатични данни, моделите дават възможност да се прогнозира бъдещото разпространение на видовете в контекста на климатични сценарии. Разработени са две нови моделни системи за изследване ефектите на засушаването върху сортове житни култури с различна устойчивост към воден стрес, които позволяват да се проучат стрес-индуцираните промени не само в надземната част, но и в корените на растенията. В първата система растенията се отглеждат в петриевии блюда (Nunc® bioassay dishes с размер 245x245x25 mm) върху твърда хранителна среда и добавен сорбитол като осмотик, а във втората – в хидропонни системи (Araponics SA, Belgium) с течна хранителна среда и сорбитол. Тези системи дават възможност за анализ на морфологията на корените и събиране на интактни коренови проби за молекулярни, генетични и епигенетични изследвания. Разработени бяха и няколко експериментални техники за изследване на генетичните механизми на отговора към стрес на растенията. Един от тях е транспозон-базиран маркерен метод iPBS (Reverse Transcriptase Primer Binding Site), комбиниран с метилационно-специфична рестриктаза McrBC, който позволява изследване на метилационния статус на подвижни генетични елементи в растителния геном. Друга иновация е използването на MSAP-NGS (Methylation-Sensitive Amplified Polymorphism coupled

with Next-Generation Sequencing) анализ, който дава възможност да се установят тъканно-специфичните промени в ДНК метилирането при засушаване на пшеница. За разлика от класическия MSAP анализ, който е ограничен до специфични локуси, комбинирането му с NGS дава възможност за високочувствително и детайлно профилиране на метилационните промени в целия геном (Genome-wide analysis). Адаптиран за растения е алкално/неутрален кометен анализ, чрез който са измерени количеството и типът на скъсванията (едно- и двойноверижни) в ДНК на ниво единична клетка. Многоелементният анализ на почвените и растителните проби за оценка съдържанието на токсични елементи е осъществен с помощта на ICP-MS.

### **Дейности по програмата**

Разнообразието от обекти на изследване предполага и голямо разнообразие от дейности. Обобщено те могат да се представят, както следва.

- Анализ на наличните данни и избор на конкретни обекти за проучване, за да се постигнат заложените цели.

- Избор на критерии и индикатори за оценка на състоянието на избраните обекти.

- Избор на утвърдени методи на изследване – залагане на постоянни пробни площи по време на експедициите, събиране на данни по трансект, лабораторни методи (химични, молекулярни, микроскопски и др.), методи за анализ на данните.

- Осъществяване на експедиции за събиране на актуална информация за разпространението и екологичното състояние на обектите на проучване.

- Прилагане на мониторингови подходи за оценка състоянието на ресурсни видове.

- Обработка на събраните данни, вписването им в бази данни. Създадени са бази данни за диворастящите гъби с ресурсно значение, за регистрации на бозайници чрез фотокапани, за акустични регистрации на прилепи.

- Създаване на модели на разпространение на ендемични и редки видове животни, на базата на ключови климатични параметри и дру-

ги важни фактори.

– Анализи на експресията на гени, свързани с отговора към абиотични стресови фактори.

– Оценка на ефекта на неблагоприятни фактори на околната среда върху структурната организация на фотосинтетичния апарат и структурната стабилност на фотосинтетичните пигмент-белтъчни комплекси.

– Определяне на специфични морфологични белези, свързани с отговора на растенията към неблагоприятни екологични фактори.

– Оценка на промените в качествения и количествения състав на основни групи метаболити (фенолни съединения, липиди, въгле-хидрати и др.), отговорни за устойчивостта на растенията към абиотични стресови въздействия.

– Работа по създаване на концепция за национална система за ранно откриване и предупреждение за инвазивни чужди видове.

– Подбор на перспективни генотипове, толерантни към засушаване, за включване в селекционния процес.

– Хибридизация за създаване на толерантни F1 хибриди домати с висока продуктивност и качество.

– Проучване на адаптивните възможности на съвременни сортове пшеница, ечемик и овес при условията на абиотичен стрес.

– Изграждане на демополета за представяне на сортове „подходящи за производство при условията на абиотичен стрес.

– Издирване на черешови, ябълкови, крушови и сливови диви форми и стари локални сортове, размножаване на отбрани ценни сортови образци.

– Разпространение на резултатите чрез публикации в научни списания, участие в научни форуми, организиране на „отворени врати“, представяне в медийното пространство.

### **Получени фундаментални резултати**

Мониторингът на видове растения в постоянни пробни площи в районите на Скопарника и Черното плато, Витоша планина, показва, че

съставът и процентното съотношение на видовете от площадките, като цяло, е постоянен. При някои видове се наблюдават известни флуктуации през годините, като например при консервационно значимите Фривалдова гимнадения (*Gymnadenia frivaldii*), Многогодишна сверция (*Swertia perennis*) и Обикновена петлюга (*Pinguicula vulgaris*). В някои от площадките през 2021 и 2023 г. са се появили нови видове, например Връшнякът (*Bruckenthalia spiculifolia*). Регистрирани бяха 82 растителни вида, 25 от които са представители на мъховата флора. По време на теренните проучвания са установени два изключително редки вида мъх в района на площадките. Първият, *Fissidens osmundoides*, е с категория „Уязвим“ (VU), нов за Витоша и второ находище за България, но първо реално потвърдено. Вторият е *Meesia triquetra* – единствено потвърдено находище в България от 120 г. насам, с категория „Почти застрашен“ (NT) в европейския Червен списък. Водорасловата флора е представена от общо 104 вида от 65 рода на 9 класа от 5 водораслови отдела. Водещи по брой видове са водораслите от зелената еволюционна линия (отдел *Streptophyta* и отдел *Chlorophyta*) и жълтокафявата еволюционна линия (отдел *Ochrophyta*) – с по 37%, следвани от представителите на синьозелената еволюционна линия (отдел *Cyanoprokaryota*) – 25%. Установени са четири вида от Червения списък на българските микроводорасли – три с категория „Уязвим“ (VU) и един „Почти застрашен“ (NT). Установени са 47 вида нематоди от 40 рода в резерват „Торфено бранище“. Трофичните групи са представени от нематоди, хранещи се с бактерии – 14 рода, хищни – 9 рода, всеядни – 9 рода, растителни паразити – 5 рода, и най-слабо представени са хранещите се с гъби – 3 рода.

Данните от анализа на хербарните образци от последните 100 години показва, че при редица видове от българската флора периодът на цъфтеж се е изместил значително напред във времето. Това е безспорно доказателство за затоплянето на климата на територията на България.

Торфищата са местообитания и за характерни видове гъби. В събраните проби от такива местообитания във Витоша (районите на х. „Кумата“, х. „Алеко“ и местн. Ветровала), Западна Стара планина (прохода Петрохан), Рила планина (Якорудски езера, Мальовица и над с. Бели Искър) и Родопите (летовище Атолука) са регистрирани 49 вида гъби. Сукцесионните процеси, водещи до обрастване на местообитания на торфени мъхове с житни и кисели треви, водят до намаляване на

разнообразието от сфагнофилни гъби. Пример за това са площадката над х. „Алеко“, както и обособени участъци от торфените съобщества в района на Петрохан и Якорудските езера. В тези пробни площи са представени само видовете на род *Galerina* Earle, докато другите видове гъби, намерени в открити пространства с доминиране на сфагнови и други мъхове, тук не се локализируют. Особено интересни в това отношение са торфищата под летовище Атолука и над с. Бели Искър, характеризиращи се със значително обрастване от житни и кисели треви и разнотреви, където не са регистрирани никакви видове гъби. Наличието на микоризни видове гъби е индикатор за късна фаза на сукцесия, при която в торфищата навлизат дървесни растения. В такива местообитания се наблюдава общо по-голям брой видове, отколкото при предходните фази на сукцесия. Установени са 4 вида паразитни гъби, нови за микотата на България: *Microbotryum minuartiae* по *Minuartia recurva*, *Microbotryum succisae* по *Succisa pratensis*, *Entyloma gaillardianum* по *Gaillardia pulchella* и *Urocystis kmetiana* по *Viola arvensis*. Два от тези видове гъби – *Microbotryum minuartiae* и *Entyloma gaillardianum*, са нови за Балканския полуостров. *Microbotryum succisae* се съобщава от второ находище за Балканския полуостров (досега беше известен само от Словения). Новоустановени за страната са и шест вида макромиецети – *Hygrocybe helobia*, *Hygrophoropsis pallida*, *Pholiota henningsii*, *Russula griseascens*, *R. paludosa* и *R. sapinea*.

Направен е актуалистичен модел на разпространението на пъстрия пор (*Vormela peregusna* *Guldenstaedt*, 1770) (Carnivora: Mustelidae) в България. Моделът MaxEnt, базиран на типове земно покритие на Corine и някои топографски променливи, показва, че пъстрият пор има широка ниша, като предпочита различни видове открити и храстови местообитания – обработваема земя, храсти и антропогенно засегнати открити площи. Средната пригодност на местообитанията в зоните от „Натура 2000“, където видът е защитен, е 0,22, което е по-ниско от средното за страната (0,3). Причината за това несъответствие е предпочитанието към антропогенно нарушени територии. Зоните в мрежата са склонни да покриват относително антропогенно неповлияни райони с добре запазена горска покривка, като цяло, не много подходящи за вида. Направено е сравнение с модел MaxEnt на оптималната плячка на пъстрия пор – европейския далугер (*Spermophilus citellus* *Linnaeus*, 1766),



въз основа на същите екогеографски променливи. Той има много по-тясна пространствена ниша, което показва, че разпространението на пъстрия пор не е непременно свързано с това на неговата оптимална плячка. Установени са осем вида прилепи чрез акустично проучване на териториите на реките Камчия и Шкорпиловска. По-голямата част от записите принадлежат на *Myotis cf. daubentonii*, *Pipistrellus nathusii* и *Nyctalus noctula*. *Plecotus austriacus* е открит само при устията на река Камчия. И двата обекта имат висок природозащитен приоритет.

Растителността в резерват „Торфено бранище“, Природен парк „Витоша“, се отнася към широко разпространените в Европа класове: острицово-мъхова растителност по мочурища (*Scheuchzerio-Caricetea fuscae* R. Tx. 1937) и умерено влажни и влажни ливади (*Molinio-Arrhenatheretea* R. Tx. 1937). Приложените ординационен и клъстерен анализ, базирани на пълния състав на видовете, показва най-голямо сходство, т.е. най-малка промяна във времето при растителността от мъхове и острици на умерено богати на калций мочурища, отнасящи се към съюз *Caricion fuscae*. Най-голямото различие беше установено за растителността на влажните ливади на минерални почви. Общото растително покритие на площите, заети от острицово-мъхова растителност по мочурища, не се е променило значимо през годините, но покритието на семенните растения се е увеличило, докато покритието на мъховете и покритието на видовете *Sphagnum* са намалели. Установената през 2005 г. асоциация *Cirsio heterotrichi-Caricetum nigrae* Soó 1957 се потвърждава като „основния“ тип растителност на високопланинските мочурища във Витоша (Најек et al. 2005). За проследяване на евентуални промени през годините в разпространението на торфищната растителност, привързана към места с различна степен на овлажняване, бяха използвани мултиспектрални сателитните снимки в комбинация с аерозаснемане чрез дроневи и контролни точки на терена в пробни площи. Разработеният алгоритъм за характеристика на растителната мозайка в торфищни местообитания дава представа за сезонните промени по отношение на овлажняване, отразяващи се върху развитието на растителни видове с различни изисквания по отношение на този абиотичен показател – хигрофити, мезохигрофити, мезофити.

Обект на проучване в Западните Родопи бяха съобществата на храстовидния очиболец (*Potentilla fruticosa*), които се срещат само в

местността Беглика, близо до Батак, както и съобществата на върболистния тъжник (*Spiraea salicifolia*) в речната тераса на река Доспатска, между градовете Сърница и Доспат. Двата типа съобщества принадлежат към ендемичните и реликтни асоциации на съюз *Alnion glutinosae Malcuit 1929* (торфени храсталаци), в състава на клас *Alnetea glutinosae*. Проучванията на бозайниците в двата бореални типа местообитания показват, че жълтогърлата горска мишка (*Apodemus flavicollis*) и ръждивата горска полевка (*Myodes glareolus*) са основните видове в тях. *Myodes glareolus* е обявен за ключов вид в проучванията на фаунистичните реакции към климатичните промени в Европа. Освен това проучванията показват, че изменението на климата може да доведе до увеличаване честотата на каламитетите при този вид, причинявайки щети на растителните съобщества, както и до повишен риск от зараза с хантавирус при хората, който тези гризачи пренасят.

В резултат на проведеното фитоценологично проучване на съобществата на локалния ендемит айтоския клин (*Astracantha aitosensis*) са установени 230 вида висши растения, вкл. 5 балкански ендемита. Получените резултати за флористичния състав, биологичния спектър, фитогеографската структура и структурните и физиономичните особености на тези съобщества, както и локалните особености на климата в района на Айтос, дават основание за причисляването им към клас *Astragalo microcephali – Brometea tomentelli Quézel 1973*, нов за растителната покривка на Европа. Потвърден е смесеният произход на тези съобщества – първични на скалисти места и вторично разпространени на места с унищожена дървесна растителност.

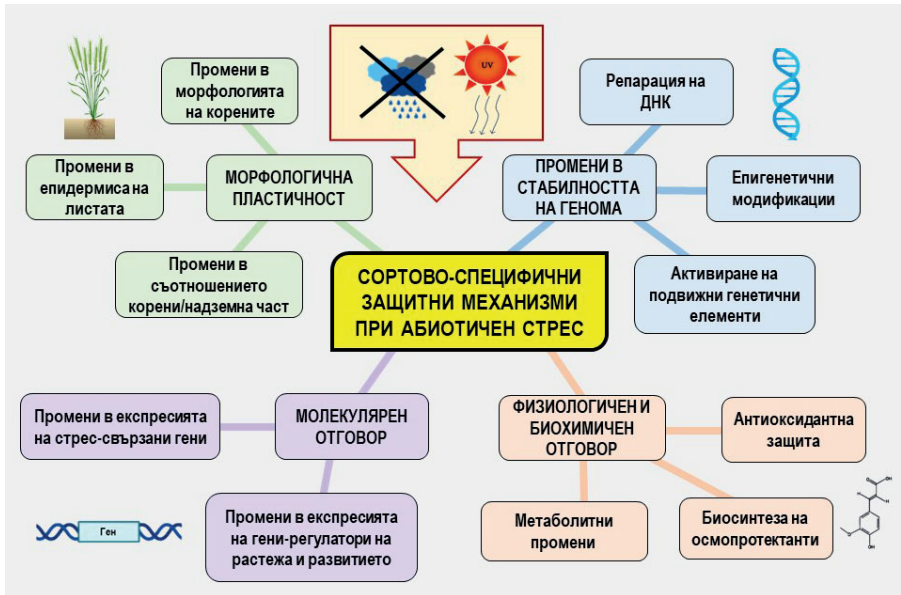
Получени бяха данни за фитохимичния състав на екстрактите от *Ailanthus altissima*. Метаноловият екстракт е богат на флавоноиди, докато при хексановия преобладаващата част от компонентите са терпеноиди (стероли) (Kozuharova et al. 2022; Todorova et al. 2022). Проведените тестове на воден екстракт от плодове на *Amorpha fruticosa* и на метанолов и хексанов екстракт от кората на *Ailanthus altissima* върху моделна тест-система *Saccharomyces cerevisiae* показаха, че нито един от тестваните екстракти в концентрации до 1mg/ml не проявява генотоксичен, мутагенен и канцерогенен потенциал (Todorova et al. 2015, 2022). Изследванията показват за първи път, че екстрактът от плодовете на *Amorpha fruticosa* и екстрактите от кората на *Ailanthus altissima* не притежават ге-

нотоксичен, мутагенен и канцерогенен капацитет при моделна система *Saccharomyces cerevisiae*. Базирайки се на получените данни, може да се заключи, че изследваните инвазивни растителни видове могат да послужат като ценен източник на биологично активни вещества. Изясняването на точните механизми на действие ще позволят тези растения да бъдат включени във фармацевтичната индустрия, което, своя страна, би помогнало за намаляване на разпространението им.

Развитието на кореновата система и надземната част на растенията е в пряка връзка с промените в околната среда. В тази връзка, бяха използвани сортове пшеница „Янтар“ и „Гинес“ за проучване на експресията на няколко гена, които модулират растежа на кореновата система и надземната част (*TaCYCD2;1*, *TaCYCD6;1*, *TaZFP34*, *TaRR12* и *TaSHY*). Установено е, че устойчивите сортове имат по-ниски нива на транскрипти на гени, които са отрицателни регулатори на кореновия растеж, и по-висока експресия на *TaZFP34*, който увеличава съотношението на корена към надземна част – важна промяна за намаляване загубата на вода и поддържане на кореновия растеж. Установено е също така, че има връзка между стабилността на генома и устойчивостта към стрес, което позволи да се разработят ДНК маркери за идентифициране на генотипове житни култури, устойчиви към засушаване. Алкално-неутралният (A/N) кометен анализ показва, че приложените стресови фактори предизвикат едно- и двойноверижни скъсвания в ДНК, зависещи от сорта на пшеницата. Толерантните към стрес сортове пшеница имат значително по-малко първични повреди в сравнение с чувствителните сортове. Използвайки метода iPBS в комбинация с MsrBC, е анализирано влиянието на засушаването върху генома и епигенетичната динамика на различни сортове пшеница. Наблюдавано е високо ниво на полиморфизъм в ДНК на MsrBC-третираните сортове, докато при нативни несрязани ДНК са открити само единични полиморфни маркери. Данните показват, че засушаването повлиява епигенетичната регулация на генома, особено върху метилационния статус на подвижните генетични елементи като SASTA и Gypsy. Определени бяха и стресови метаболити и важни параметри за установяване на физиологичната реакция на различните генотипове пшеница и ечемик към засушаване и UV стрес, като липидно пероксидиране, антиоксидантен капацитет, честота и вид на хромозомни аберации и др. Получените резултати по-

казаха наличието на комплексни генотип- и орган-специфични ефекти. Следователно различните сортове пшеница имат специфични стратегии за адаптация към засушаване, проявяващи се чрез специфични метаболитни и физиологични промени.

Установени са нови чужди видове за необиотата на България: *Cupressaria siskiyoi* – нов чужд вид за фауната на България, установен по шишарки на *Chamaecyparis lawsoniana*. За първи път се съобщава натурализирано находище на *Rhus typhina*, който масово се използва като декоративен храст или ниско дърво в цялата страна. Документирани са нови случаи на коинвазия на иглолистни видове дървета и свързани с тях микоризни гъби от род Масловка (*Suillus*). Установени са нови хорологични данни за чужди видове, напр. семенни растения – *Dittrichia graveolens*, *Dittrichia viscosa*, *Elodea nuttallii*, *Euphorbia serpens*; гъби – *Lysurus cruciatus*; животни – *Garella musculana* (Азиатски орехов молец, един от най-важните вредители по ореховите дървета), *Myocastor coypus*, *Ondathra zibetucus* и др.



**Фигура 1.** Сортово специфични защитни механизми при абиотичен стрес при житни култури. Диаграмата представя основните категории на отговорите на пшеница и ечемик към засушаване и UV стрес

Биомониторингът е утвърден подход за оценка на състоянието на околната среда. Предложеният подход за оценка, включващ традиционен анализ на почвата, използване на добре проучен за съответния регион биомонитор (глухарче, *Taraxacum officinale* в това проучване) и многовариационният статистически анализ може да бъдат успешно приложени и за оценка на риска от замърсяване с потенциално токсични елементи не само в минни региони, но и в други антропогенно повлияни области. Коефициентът на акумулация е важен показател, защото дава представа за реакцията на биомонитора по отношение на замърсители в околната среда. Различните коефициенти на акумулация в замърсени райони спрямо фоновите показват, че елементният състав на растението се променя в отговор на антропогенния замърсител. Само концентрациите на елементите в почвите не са достатъчни за надеждна оценка на риска.

### Получени приложни резултати

Диворастящите гъби са ценен природен ресурс с важно значение за икономиката на страната. България е един от най-големите износители на диворастящи гъби в Европа и събирането на диворастящи гъби и към момента осигурява допълнителен доход на населението на селските райони в страната. Изработена е база-данни със следните информационни елементи: 1. име, под което видът е съобщен с автори, 2. актуално название с автори, 3. оригинално съобщено находище, 4. област, 5. община, 6. координати, 7. точност на координатите (абсолютна – снети на терен, снети с висока точност впоследствие, уточнени по литературни данни – приемлива точност, избрани по литературни данни – ниска точност, в последните два случая в зависимост до каква степен информацията от литературата позволява фиксиране на координати, като за разстояния, надвишаващи 1 км, се прилага последната стойност), 8. дата, 9. колектор, 10. определил, 11. литературен източник (за публикувани данни), 12. непубликувана информация. Организирана по такъв начин, информацията може да бъде обработвана както времево, така и пространствено. Въведени в масива от данни са наличните съобщения микологичната литература и са включени нови данни, събрани в хода на теренните проучвания по програмата. Масивът от данни съдържа общо над 9000 записа, които са приведени към названията, възприе-

ти в Checklist of the larger basidiomycetes in Bulgaria (Denchev & Assyov 2010). В хода на работата са установени 35 нови за страната вида гъби. Някои новоустановени отровни видове имат подчертано значение за човешкото здраве, напр. видовете от род *Lepiota*, както и тези от род *Chlorophyllum*. Два дърворазрушаващи вида – *Peniophora tamaricicola* и *Vuilleminia coryli*, може да имат потенциално важно значение, развивайки се върху храсти на род *Tamarix* (ракитовница), използвани в декоративното зелено строителство и като почвоукрепващи край пътища, или върху видове от род леска (*Corylus*), които имат важно стопанско значение в производството на ядливи ядки. *Hydnellum fuligineoviolaceum* – нов вид за микотата на България, е с индикаторна стойност за стари горски местообитания (фигура 2).



Фигура 2. *Hydnellum fuligineoviolaceum*

Субалпийската мочурна растителност има тенденция към засушаване, изразяващо се с повишаване броя на семенните растения и намалено присъствие на торфени мъхове. Планинските влажни ливади за проучения 13-годишен период са обогатени с мъхове, и особено със сфагнови видове. Всички наблюдавани типове растителност се захранват от подземни води, което означава, че не само намаляването на валежите, но и намаляването на дебелината и времето на задържане на снежната покривка са от решаващо значение за тяхното оцеляване. Пчева et al. (2019) прогнозира намаляване на валежите и повишаване на средните годишни температури за най-големите височини на планината, причи-

няващи засушаване през лятото. Моделът на тенденцията в промените на водоемите на Витоша показва, че днес около 13% от торфените комплекси се считат в незадоволително състояние (Pcheva et al. 2019).

Направен е преглед на биоразнообразието на бозайниците в Дунавско-Добруджанския регион на Долнодунавската ландшафтна провинция на България. В района се срещат седемдесет и четири вида бозайници. Съвременни данни за разпространението на 57 вида са използвани за съставяне на модели за пригодност на местообитанията в цялата страна. Местата с високо видово разнообразие са свързани с екологични коридори, които следват речните долини и са формирани предимно от малкото запазени крайречни гори. Оценена е ролята на мрежата „Натура 2000“ в района. Обобщени са данните за състоянието на европейския лалугер (*Spermophilus citellus* L.) в „Натура 2000“, зона BG0001389 – Средна гора, и е оценен природозащитният статус. Направен е анализ на динамиката на пригодността на местообитанието на основата на сателитни снимки в контекста на климатични промени. Използвани са данни от сателитни изображения на Landsat за моделиране на промените в пригодността на местообитанията на вида от 1985 г. до 2018 г. Получените резултати показват, че пригодността на местообитанията на европейския лалугер се е увеличила през изследвания период вероятно поради повишените температури и съпътстващата суша през лятото, както и причинените от човека промени в пасищното животновъдство. Въз основа на статистическо моделиране използваната процедура се прилага за дългосрочен мониторинг и оценка на ролята на промяната на земното покритие поради изменението на климата и човешката дейност върху пригодността на местообитанията на европейския лалугер. Този подход може да бъде полезен за планиране на опазването.

Съобществата на айтоския клин и храстовидния очиболоец са включени в Приложение 1 на Закона за биологичното разнообразие и се опазват в защитени зони в мрежата „Натура 2000“. Получените резултати ще имат практическо приложение при управлението на тези защитени зони.

Сред видовете, обекти на любителски риболов, най-чувствителен към глобалните климатични промени е речната (балканската) пъстърва *Salmo trutta fario*. Речната пъстърва е типичен обитател на планинските и алпийските реки, където в много случаи е единствен представи-



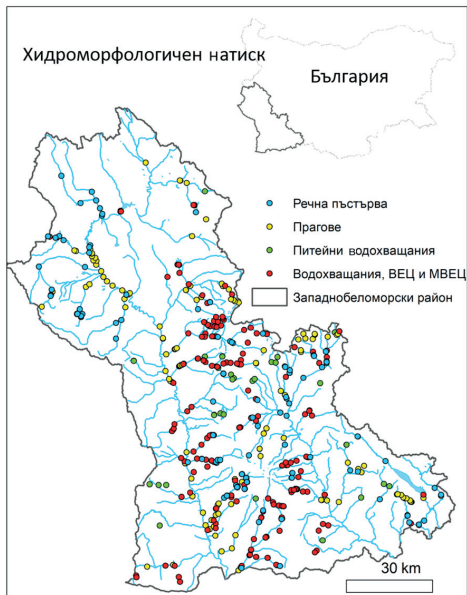
тел на ихтиофауната и поради това е важен компонент в структурата на водните екосистеми в тези реки (фиг. 3). Бяха събрани и обработени данни от мониторинг на риби от 241 проби, събирани за периода 2009 до 2023 г. на територията на Западнеломорския водосборен район. Направен е анализ на разпространението на пъстървата по основни параметри на околната среда, като температура на водата и надморска височина. Основен фактор, определящ разпространението на пъстървата, е температурата на водата. Речните участъци, в които е регистриран видът речна пъстърва през лятно-есенния сезон, отчитат стойности на температурата на водата между 5 и 190С. Сред мерките за защитата на популацията на речната пъстърва от глобалните климатични промени са: поддържане на структура на горски насаждения, задържащи снега и забавящи речния отток, отклоняване на дренажните системи на пътната инфраструктура от речната мрежа, за да се смекчи вливането на пясък и луга в речната мрежа по време на силни дъждове, осигуряване на проходимост на реките и достъп на рибите до сезонни местообитания, като зони за зимуване или летни термални убежища и др. На фиг. 4 е представена карта на разпространение на типовете „Хидроморфологичен натиск“ на територията на Западнеломорския район.

Оценката на състоянието на лечебните видове растения е пряко свързана с мониторинга на техните местообитания. По време на изпълнението на проекта са проведени теренни наблюдения върху 12 вида лечебни растения, попадащи в различни категории: забранени за събиране за лични и стопански цели (златен корен *Rhodiola rosea* и два вида кокиче – *Galanthus elwesii* и *Galanthus nivalis*), разрешени за ползване за лични нужди (напр. мечо грозде *Arctostaphylos uva-ursi*), разрешени за стопанско ползване от естествените им находища, но при определени допустими количества (напр. лечебна иглика *Primula veris* и лазаркия *Galium odoratum*). Информацията от теренните ни проучвания е събрана в база данни, като за всяка изследвана локална популация е изготвен „паспорт“, който съдържа карта в мащаб 1:5000, както и система от информационни полета.

**Фигура 3.** Карта на „Разпространение“ на речната пъстърва (*Salmo trutta*) на територията на Западнбеломорския район



**Фигура 4 .** Карта на разпространение на типове „Хидроморфологичен натиск“ на територията на Западнбеломорския район



Екип от Института по земеделие – Карнобат, проучи адаптивните възможности на 75 съвременни сорта пшеница, ечемик и овес при условията на абиотичен стрес. При пшеницата най-висок процент на преживели растения при най-ниските температури на замръзване са констатирани при сортовете Flavor, Apilko, Gabrio и Миряна. Около 26 % от проучваните генотипове са с много добра сухоустойчивост. Сред тях са „Миряна“, „Енола“, Pibrac, Prestance, Basilio и Euclide. При ечемика с висока студоустойчивост се отличават генотиповете CRT 3-4, CRT 611-1, CRT 621-3, CRT 672-1, а с висока сухоустойчивост – DRT 052, DRT 275. Налице са първите създадени сортове с висока устойчивост към абиотичен стрес – „Орфей“ и „Одисей“. При овеса съчетание на висок и стабилен добив и добра сухоустойчивост се установява при сорт „Кехлибар“ и линиите 1313-2, 1400-2-1, 1089-1-1, DR 1409-1-1 и 1008 Re 1, които могат да бъдат регистрирани в базата данни по сухоустойчивост, а сорт „Кехлибар“ и линията 1008 Re 1 се отличават с комплексна устойчивост към абиотичен стрес и запазват своя продуктивен потенциал и в условията на студ и суша.

В демополета, организирани в 4 пункта на страната, са презентирани 24 сорта ечемик (8 многореден и 17 двуреден), 3 сорта овес и 12 сорта пшеница. Българските сортове пшеница „Миряна“, „Косара“, „Карина“ и „Чудомира“ са показали много добра устойчивост към абиотичен стрес. При сорт „Миряна“ добивът е в границите от 798 kg/da до 920 kg/da; при „Косара“ и „Юлита“ – съответно 831 kg/da и 820 kg/da. От чуждите сортове най-добре се адаптират към условията на България Pibrac (992 kg/da), Asterion (955 kg/da) и Anapurna (917 kg/da). При ечемика от фуражните сортове с висока продуктивност за района на Карнобат се отличават „Алексан“ (103,7 %), „Пагане“ (107,6 %) и „Фанагория“ (101,1 %), при условията на Садово – шестредните сортове „ИЗ-Бори“ (108,7 %) и „Божин“ (113,0 %), и за района на Средец – сорт „Земела“ (102,3 %). При двуредните сортове високи добиви реализират сортовете „Лардея“ (895 kg/da), „Одисей“ (873 kg/da), „Сайра“ (862 kg/da) и „Кубер“ (832 kg/da) в района на Карнобат; „Дария“ (490 kg/da) и „Захир“ (480 kg/da) – в района на Средец и Поток (432 kg/da), и „Девиния“ (429 kg/da) – в района на Пазарджик. При овеса с добра адаптивност в условията на Карнобат са сортовете „Кехлибар“, „Хектор“ и „Телерик“.

Проучването на 75 образеца ечемик, пшеница и овес показва, че са

налице генотипове, които проявяват много добра устойчивост към студ и суша и могат да бъдат включвани като родителски форми в селекцията по абиотичен стрес. С цел създаване на ново генетично разнообразие от пшеница, ечемик и овес, устойчиви на абиотичен стрес, са осъществявани по три прости хибридни комбинации във всяко от направленията и всяка култура с участието на генотипове с доказана висока проява на студо- и сухоустойчивост. При пшеницата като родителски компоненти са използвани сортовете пшеница „Миряна“, Esperia, Rumeli, Sorial и Vitorio, отличаващи се с висока продуктивност и висока студо- и сухоустойчивост.

В резултат на научните експедиции през периода 2018 – 2023 г. в обследваните райони на Западна България са издирени, идентифицирани, размножени и съхранени в генбанката на Институт по земеделие – Кюстендил, сравнително голям брой застрашени от изчезване стари сортове и диви растителни форми. Оказва се, че крушата е била предпочитаният овощен вид в тези селища, но е отглеждана предимно като единични дървета по ниви, ливади и в дворните места или под формата на малки кории (горички), а плодовете ѝ са дълбоко навлезли в българския бит и народната ни култура в тези региони. В миналото са използвани от хората и като средство за превенция и лечение на редица болести, свързани с обмяната на веществата, бъбречни проблеми и диабет, тъй като са с повишено съдържание на дъбилни вещества, пектин и други полезни биологично активни съставки. От крушата най-често са отглеждани следните сортове: „Енисейка“ (Лятна стамболка, Илинка), „Каргия“, „Беграм“ (Караманец, Чеславка), „Ечменка“ (Жетварка, Кратунка), „Синевъц“, „Кюстендилска масловка“, „Присад“, „Водник“ (Арибасма), „Японски беграм“, „Женева“ (Котешка глава), „Есенна стамболка“ (Мехмедка), „Сулия“, „Трънливка“, „Топавец“, „Лютивка“, „Инжирка“, „Парлапанка“, „Рашка“, „Петровка“, „Скорозрелка“, „Алатка“, „Пъстърва“, „Генерал льо Клер“, „Боскова масловка“, „Попска круша“ и други. За тези сортове се твърди, че са резултат от народната селекция с неизяснен произход. Ценното на тези сортове е, че са се формирали при тукашните екологични условия в продължение на десетилетия и са се приспособили в най-голяма степен към тях. Притежават сравнително добра студоустойчивост, сухоустойчивост и по-слаба чувствителност към най-разпространените болести и неприятелите,

което им е позволило да се съхранят до днес, без за тях да са полагани грижи през последните 3 – 4 десетилетия. При ябълката е установено голямо разнообразие от стари сортове и случайни семеначета, отличаващи се по морфологични и биологични особености (фиг. 5). От старите ябълкови сортове, които са отглеждани в полупланинските и планинските селища на обследваните региони са идентифицирани сортовете: „Бухавица“, „Тетовка“, „Зелена княжевска“, „Златна пармена“, „Кичовка“, „Лимонка“, „Циганка“, „Кандиле“, „Айвания“, „Карастоянка“, „Скринянка“, „Велингтон“, „Жълт белфлор“, „Бял зимен калвил“, „Бернска розова“, „Каселска ренета“, „Овча муцуна“, „Кадънка“, „Цар Александър“, „Петровка“ и др. При черешата са картотекирани около 150 диви черешови форми и стари сортове с неизвестен произход. В изоставени градини са идентифицирани и старите черешови сортове „Алданова“, „Румънка“, „Бобошевска ранна“, „Ръждавичка белвица“, „Переста белвица“, „Волско сърце“ и „Наполеон“. Картотекирани са над 100 представители от свободно растящата популация от махалевкови форми и диви череши в района на Кюстендил и е установено наличието/отсъствието на Parvoviruses в тях. Издирени и маркирани са единични дървета от вида „Скоруша“, чиято възраст е над 100 години. Тези проучвания показват, че има запазени стари овощни сортове с единични плодни дървета, които са ценени от местното население и представляват селекционен интерес, включително във връзка с климатичните промени и използването на адаптивни сортове. Издирените сортове и отбраните 67 перспективни растителни форми от местните генетични ресурси са размножени и засадени в генбанката на Института по земеделие – Кюстендил, като уникални сортове и разновидности, които ще бъдат използвани в бъдещата селекционна дейност.

Експериментите с хибридни домати показват, че в сравнение с родителските генотипи хибридните комбинации са по-толерантни на приложения стрес. В условия на редуцирано напояване при хибридите се наблюдава изрисяване на цветовете в границите от 16,7% до 52,8% и понижаване на продуктивността с до 61%. При родителските образци изрисяват от 28,2% до 61,7% от цветовете, а понижаването в продуктивността е с до 67%. При по-голямата част от F1 хибридите, вкусовите показатели са по-добри при режима на отглеждане с недостиг на вода. Това вероятно се дължи на по-високите стойности в съдържание-

то на вкусово определящите вещества – титруеми органични киселини и сухо вещество, което при догатите е в добра корелация със съдържанието на общи захари.



Фигура 5. Ябълков сорт



Фигура 6. Местен сорт жълта слива

## **Съдействие на държавни и общински органи, стопански субекти, НПО**

С разработването на специфични цели за опазване на природните местообитания и видовете, обект на опазване в защитена зона BG0000636 „Ниска Рила“ от екологичната мрежа „Натура 2000“ в България, е подпомогнато МОСВ за изпълнение на изискванията на Директивата за местообитанията (Директива 92/43/ЕИО за опазване на природните местообитания и на дивата флора и фауна). Съгласно указанията на Европейската комисия от 2012 г. общата цел за постигане на благоприятно природозащитно състояние (БПС) за всички видове и типове природни местообитания, изброени в приложения I и II към Директивата за местообитанията, трябва да бъде транспонирана в природозащитни цели на ниво защитена зона, които определят състоянието, което трябва да се постигне от видовете и типовете природни местообитания в съответните защитени зони, за да се увеличи максимално приносът на защитените зони за постигане на БПС на национално, био-географско или европейско ниво.

### **Международно сътрудничество**

В сътрудничество с изследователи от чужбина са публикувани следните научни статии:

Kozuharova E., Aneva I., Goulson D. 2019. Wild aromatic Bulgarian Lamiaceae and their bee pollinators. *Botanika Chronika* 22, 2019, ISSN:0253-6064, pp. 1 – 14.

Kozuharova E., Aneva I., Goulson D. 2020. Book Chapter: Bees and medicinal plants – prospective for entomovectoring. In: Hokkanen, H., Gao, Y., and Menzler-Hokkanen, I. (Eds.). *Integrative Biological Control*. Springer, Series “Progress in Biological Control”, vol. 15, pp. 231 – 248. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44838-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44838-7_15). Electronic ISSN 2543-0076.

Lapeva-Gjonova A. & Radchenko, A.G. 2021. Ant genus *Strongylognathus* (Hymenoptera, Formicidae) in Bulgaria: a preliminary review. *Biodiversity Data Journal* 9: e65742. <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e65742>, On-line ISSN 1314-2828.

Vladimirov, V., Petrova, A., Barzov, Zh. & Gudzinskas, Z. 2019. The alien species of *Heracleum* (Apiaceae) in the Bulgarian flora revisited. –



Phytologia Balcanica, vol. 25, no. 3, pp. 395 – 405. On-line ISSN: 1314-0027.

Trichkova T., Paunović M., Cogălniceanu D., Schade S., Todorov M., Tomov R., Stănescu F., Botev I., López-Cañizares C., Gervasini E., Hubenov Z., Ignatov K., Kenderov M., Marinković N., Mitton I., Preda C., Spinelli F. A., Tsiamis K. & Cardoso A. C. 2021. Pilot application of ‘Invasive Alien Species in Europe’ smartphone app in the Danube Region. Water, vol. 13, p. 2952. <https://doi.org/10.3390/w13212952> . ISSN: 2073-4441.

### Разпространение и популяризация на резултатите

Резултатите от изследванията са представени на научни форуми чрез поканени доклади, усти презентации и постери – общо 85 участия в периода 2019 – 2023 г. Излезлите от печат научни публикации в специализирани списания с квартали Q1 – Q4 са 35, а други 11 са в списания, индексирани в WoS/Scopus. По-долу са представени някои от публикациите.

Aneva I., Zhelev P., Sidjimova B., Nikolova M., Savev S. 2021. Population Status and Natural Localities of *Rhodiola rosea* in Rila Mts., Bulgaria. Ecologia Balkanica, Special editio, vol. 4, pp. 145 – 151.

Assyov, B. 2021. *Psathyrella typhae*, *Stropharia halophila*. – In: Sabovljević, M.S. et al. New records and noteworthy data of plants, algae and fungi in SE Europe and adjacent regions. 5. – Botanica Serbica, vol. 45, pp. 357–358.

Assyov, B. 2021. *Tricholoma frondosae*. – In: Tomović, M.S. et al. New records and noteworthy data of plants, algae and fungi in SE Europe and adjacent regions. 6. – Botanica Serbica, vol. 45, pp. 364 – 365.

Denchev, T.T. & Denchev, C.M. 2021. *Microbotryum minuartiae* and *M. succisae* (Microbotryales, Pucciniomycotina) newly recorded from Bulgaria. – Comptes Rendus de l’Académie Bulgare des Sciences, vol. 74, no. 11, pp. 1621 – 1625.

Georgieva M, Bonchev G, Zehirov G, Vasileva V, Vassileva V. 2021. Neonicotinoid insecticides exert diverse cytotoxic and genotoxic effects on cultivated sunflower. Environmental Science and Pollution Research, vol. 28, no. 38, pp. 53193 – 53207.

Georgieva M, Vassileva V. 2023. Stress management in plants: examining

- provisional and unique dose-dependent responses. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 6, p. 5105.
- Ivanova T, Marchev A, Chervenkov M, Bosseva Y, Georgiev M, Kozuharova E, Dimitrova D. 2023. Catching the Green—Diversity of Ruderal Spring Plants Traditionally Consumed in Bulgaria and Their Potential Benefit for Human Health. *Diversity*, vol. 15, no. 3, p. 435.
- Ivanova, T.; Chervenkov, M.; Kozuharova, E.; Dimitrova, D. 2022. Ethnobotanical Knowledge on Herbs and Spices in Bulgarian Traditional Dry-Cured Meat Products. *Diversity*, vol. 14, p. 416.
- Katrandzhiev, K.; Gocheva, K.; Bratanova-Doncheva, S. 2022. Whole System Data Integration for Condition Assessments of Climate Change Impacts: An Example in High-Mountain Ecosystems in Rila (Bulgaria). *Diversity*, vol. 14, p. 240.
- Koshev Y. S., N. P. Nedyalkov, I. A. Raykov. 2022. Range expansion of three invasive alien mammals in Bulgaria. - *Russian Journal of Theriology*, vol. 21, no. 1, pp. 53 – 62.
- Kozuharova, E., Pasdaran, A., Al Tawaha, A.R., Todorova, T., Naychov, Z., Ionkova, I. 2022. Assessment of the Potential of the Invasive Arboreal Plant *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) as an Economically Prospective Source of Natural Pesticides. *Diversity*, vol. 14, 8, MDPI.
- Lapeva-Gjonova A. & Radchenko, A.G. 2021. Ant genus *Strongylognathus* (Hymenoptera, Formicidae) in Bulgaria: a preliminary review. *Biodiversity Data Journal* 9: e65742.
- Mihaylova, V., Yotova, G., Marinova, K., Benderev, A., Lyubomirova, V., Tsakovski, S. 2023. Biomonitoring of Potentially Toxic Elements in an Abandoned Mining Region Using *Taraxacum officinale*: A Case Study on the “Tsar Asen” Mine in Bulgaria. *Applied Sciences*, vol. 13, p. 11860.
- Natcheva R., Ganeva A., Biserkov V., Biserkov J. 2021. Annual dynamics of specks in the landscape mosaic from Sentinel-2 in a mire at the ecological edge. *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 74, no. 9, pp. 1338 – 1345.
- Sabovljević, M.S., Tomović, G., Taşkın, H., Assyov, B., Škondrić, S., Perić, R., Sabovljević, A.D., Dragičević, S., Marković, A., Knežević, J., Cimerman, Ž.L., Strgulc Krajšek, S., Djordjević, V., Krdžić, S., Ilchev, I., Stoykov, D., Alvarado, P., Djurović, S.Z., Buzurović, U., Stanković, M., Kasom, G., Papp, B., Pantović, J., Štefănuț, S., Ștefănuț, M.-M., Trbojević, I., Romanov, R.,

- Schmidt, D. & Korda, M. 2023. New records and noteworthy data of plants, algae and fungi in SE Europe and adjacent regions, 15. *Botanica Serbica*, vol. 47, no. 2, pp. 361 – 374.
- Spasova V, Simeonovska-Nikolova D, Dimitrov K, Petrova G, Pachedjieva K, Tzonev R. 2023. The use of boreal relict shrub habitats of willow-leaf meadow sweet (*Spiraea salicifolia*) and shrubby cinquefoil (*Potentilla fruticosa*) in Western Rhodope Mts. by mammal species. In: Chankova S, Danova K, Beltcheva M, Radeva G, Petrova V, Vassilev K. (Eds). *Actual problems of Ecology. BioRisk*, vol. 20, pp. 139 – 152.
- Stefanov T. & Apostolou A. 2022. First record of Macedonian vimba *Vimba melanops* (Heckel, 1837) (Actinopterygii: Cyprinidae) in the Bulgarian stretch of the Mesta (Nestos) River. *Acta Zool. Bulg.*, vol. 74, no. 1, pp. 39–42.
- Stoyanov S., Negrean G. & Vladimirov V. 2022. Contribution to the knowledge of *Bromus diandrus-rigidus* (Poaceae) polyploid complex in the Bulgarian and Romanian flora. *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 75, no. 4, pp. 536 – 544.
- Todorov, M., Kenderov, M., Botev, I., Hubenov, Z. & Trichkova, T. 2020. First records of *Pectinatella magnifica* (Leidy, 1851) (Bryozoa: Plumatellida: Pectinatellidae) in the Bulgarian shoreline zone of the Danube River. *Acta Zoologica Bulgarica*, vol. 72, no. 4, pp. 611 – 617.
- Todorova T, Boyadzhiev K, Shkondrov A, Parvanova P, Dimitrova M, Ionkova I, Krasteva I, Kozuharova E, Chankova S (2022) Screening of *Amorpha fruticosa* and *Ailanthus altissima* extracts for genotoxicity/antigenotoxicity, mutagenicity/antimutagenicity and carcinogenicity/anticarcinogenicity. In: Chankova S, Peneva V, Metcheva R, Beltcheva M, Vassilev K, Radeva G, Danova K (Eds) *Current trends of ecology. BioRisk*, vol. 17, pp. 201 – 212.
- Tomov, R. 2020. First record of the Japanese grape leafhopper *Arboridia kakogawana* (Matsumura, 1932) (Homoptera: Cicadellidae, Erythroneurini) in Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, vol. 72, no. 4, pp. 691 – 695.
- Tomov, R. 2020. First records of the Walnut Shield Bearer *Coptodisca lucifluella* (Clemens, 1860) (Lepidoptera: Heliozelidae) in Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, vol. 72, no. 4, pp. 697 – 700.
- Tomović, G., Sabovljević, M.S., Shivarov, V.V, Assyov, B., Bozok, F., Tamas, G., Ștefănuț, S., Perić, R., Knežević, J., Škondrić, S., Trbojević, I., Milovanović,

- V., Vidaković, D., Krizmanić, J., Stoykov, D., Strgulc Krajšek, S., Trčak, B., Djordjević, V., Djurović, S.Z., Buzurović, U., Šabanović, E., Knežević, A., Šovran, S., Papp, B., Pantović, J. & Sabovljević, A.D. 2023. New records and noteworthy data of plants, algae and fungi in SE Europe and adjacent regions, 14. *Botanica Serbica*, vol. 47, no. 2, pp. 347 – 359.
- Trichkova, T.; Todorov, M.; Kenderov, M.; Hubenov, Z.; Botev, I.; Stefanov, T.; Georgiev, D.; Jurajda, P. 2022. Invasive alien species of benthic macroinvertebrates and fish in the Bulgarian sector of the Danube River – results of the Joint Danube Survey 4 (JDS4). *Water* 14: 2299.
- Vesela Evtimova, Violeta Tyufekchieva, Emilia Varadinova, Yanka Vidinova, Mila Ihtimanska, Galia Georgieva, Milcho Todorov, Rabia Soufi . 2021. Macroinvertebrate Communities of sub-Mediterranean Intermittent Rivers in Bulgaria: Association with Environmental Parameters and Ecological Status, *Ecologia Balkanica*, Special edition, pp. 49 – 64.
- Vladimirov V., Bancheva S., Ivanova D. 2023. Contribution to the knowledge of *Pontechium maculatum* (Boraginaceae), a species of high conservation concern in the Bulgarian flora. *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 76, no. 2, pp. 203 – 210.
- Zidarova, S., Popov, V. 2022. Long term (1985 – 2018) changes of the habitat suitability of European souslik assessed by maxent modelling based on Landsat satellite imagery – a case study from a mountain landscape of Central Bulgaria. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, vol. 68, no. 3, pp. 277 – 292.

Успешното внедряване на нови сортове в производството е свързано с тяхното популяризиране. Чрез представянето им пред потенциалните потребители, каквито са земеделските производители, се цели да се акцентира върху специфичните им особености и качествата им, като цяло. През последните години интересът на земеделските производители е насочен към сортове с доказана устойчивост към абиотичен стрес, които в условията на нетипичната динамика на метеорологичните условия осигуряват получаването на стабилно производство. Организирането на демополета в различни райони на страната (Карнобат, Садово, Средец и Пазарджик) помага на земеделските производители да направят правилния избор на сортове, подходящи за отглеждане съобразно специфичните условия на техните конкретни региони. В демонстра-

ционните полета са представени 24 сорта ечемик (8 многореден и 17 двуреден), 3 сорта овес и 12 сорта пшеница.

Установени са контакти с местни риболовни организации. Подготвят се научнопопулярни публикации в издания, свързани с любителския риболов.

Сключено е Споразумение за сътрудничество с Националното сдружение на малкия и средния бизнес с цел осъществяване на политиките по съхраняване и устойчиво ползване на биологичните ресурси на страната и адаптиране на бизнеса към предизвикателствата на промените в климата. Обсъдени са стъпки за създаване и прилагане на научно обосновани подходи за развитие и иновации в подкрепа на малкия и средния бизнес в България чрез разработване на съвместни проекти, организиране на обучения и предоставяне на услуги.

Посещение на ученици от Американския колеж в София в лабораториите на ИФРГ – БАН, и запознаване с техниките за анализ на генна експресия (изолиране на РНК и синтез на кДНК) в различни генотипове пшеница, които са основен обект на изследване в Програмата. Направена е демонстрация на хидропонни системи за отглеждане на различни сортове пшеница пред ученици от Американския колеж в София. Разяснени са предимствата на тези системи за събиране на проби от кореновата система на растенията, което дава възможност за цялостно проучване на растителния организъм.

### Цитирана литература

- Denchev, С.М. & Assyov, В. 2010. Checklist of the larger basidiomycetes in Bulgaria. – *Mycotaxon* 111: 279–282 + on-line version: 1 – 76 (<http://www.mycotaxon.com/resources/checklists/denchev-v111-checklist.pdf>). ISSN 0093-4666.
- Hájek M., Tzonev R., Hájková P., Ganeva A., Apostolova I. (2005) Plant communities of the subalpine mires and springs in Vitosha Mt., *Phytologia Balcanica*, vol. 11, no. 2, pp. 193 – 205. ISSN: 1314-0027 (online).
- Ilcheva I., Yordanova A., Raynova V. (2019) Water resource balance for Vitosha Nature Park and adaptive management under conditions of climate change, *European Journal of Geography*, vol. 10, no. 3, pp. 56 – 72. ISSN: 1792-1341.

- Kozuharova, E., Pasdaran, A., Al Tawaha, A.R., Todorova, T., Naychov, Z., Ionkova, I.. Assessment of the Potential of the Invasive Arboreal Plant *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) as an Economically Prospective Source of Natural Pesticides. 2022. *Diversity*, vol. 14, no. 8, p. 680, MDPI, 2022, DOI:<https://doi.org/10.3390/d14080680>, ISSN: 1424-2818=
- Todorova, T., Boyadzhiev, K., Shkondrov, A., Parvanova, P., Dimitrova, M., Ionkova, I., Krasteva, I., Kozuharova, E., Chankova, S., 2022. Screening of *Amorpha fruticosa* and *Ailanthus altissima* extracts for genotoxicity/ antigenotoxicity, mutagenicity/antimutagenicity and carcinogenicity/ anticarcinogenicity. In: Chankova S, Peneva V, Metcheva R, Beltcheva M, Vassilev K, Radeva G, Danova K (Eds) *Current trends of ecology*. *BioRisk*, no. 17, pp. 201 – 212. <https://doi.org/10.3897/biorisk.17.77327>, ISSN 1313-2652 (online).
- Todorova, T., Pesheva, M., Gregan, F., Chankova, S., 2015. Antioxidant, antimutagenic and antitumor effects of *Papaver rhoeas* L. extract on *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Medicinal Food*, vol. 18, no. 4, pp. 460 – 467. <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.0050>, ISSN: 1557-7600 (online).
- Wilson, D.E., Cole, F.R., Nichols, J.D., Rudran, R. and Foster, M.S., eds. (1996). *Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for mammals*. Washington and London: Smithsonian Institution Press, 409 p. ISBN 1560986379.

**ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА  
ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ/КАТАСТРОФАЛНИ АТМОСФЕРНИ  
И ХИДРОСФЕРНИ ЯВЛЕНИЯ**

**Биляна Борисова, Стелиян Димитров, Нина Николова,  
Ивайло Йотинов, Раденка Митова**

*Софийски университет „Св. Климент Охридски“*

**Нина Добринкова**

*Институт за изследване на космическите технологии  
Българска академия на науките*

**Миглена Жиянски**

*Институт за гората  
Българска академия на науките*

**Стоян Недков**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география  
Българска академия на науките*

**Росица Величкова**

*Технически университет, София*

**Методи и модели за оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни явления**

Тази серия изследвания целят изясняването на причините и последиците от проявата и интензивността на неблагоприятни/катастрофални атмосферни явления в България в регионален мащаб чрез подобряване на капацитета за изучаване и оценка на тези явления и чрез повишаване на научните знания и обществената осведоменост относно уязвимостта към климатичните промени и въздействието на изменението на климата върху живота и стопанската дейност на хората. Изследванията са ръководени от проф. д-р Нина Николова от Геолого-географския факултет на Софийския университет „Св. Климент Охридски“ в екип с изследователите от същата институция: доц. д-р Калина Радева, гл. ас. д-р Симеон Матев, гл. ас. д-р Христо Попов, гл. ас. д-р Леонид Тодоров.



Изследванията са реализирани чрез комплексен изследователски подход, използване на математико-статистически методи и на базата на данни от измервания и модели са изследвани избрани райони от България във връзка със засушаването (интензивност, продължителност, опасност, уязвимост и риск), проявата на екстремно високи температури и връзката им с атмосферната циркулация, мразови и ледени дни, екстремно валежни и екстремно сухи дни и месеци. Приложен е методът на размита логика за комплексна оценка на уязвимостта от засушаване (на примера на Северозападна България), Nikolova et al. (2021b). Доказана е приложимостта на месечните данни (чрез индекса на Фурние, модифицирания индекс на Фурние, индекс за концентрация на валежите) за изследване на ерозивността на валежите, което е от особена важност за случаи и райони, за които липсват данни от плювиографски записи за валежите (Nikolova et al. 2024; Nikolova et al. 2021a). За пространствени анализи и визуализация на резултатите са използвани ГИС.

На базата на източници със свободен достъп и собствени метеорологични измервания от автоматични метеорологични станции, инсталирани от катедра „Климатология, хидрология и геоморфология“ на Геолого-географския факултет на Софийския университет, е направен анализ на информационната обезпеченост и е създадена база данни. Тя включва научни публикации и нормативни документи, метеорологична информация (данни от инструментални измервания и регионални климатични модели и сценарии), статистическа информация (добиви от основни земеделски култури); карти (физикогеографски, климатични, земеползване). Териториалният обхват на изследванията включва основно Северна България, където се намира един от основните земеделски райони на страната, и Югозападна България – района с най-голяма гъстота на населението поради столичния град. Обработен е значителен обем количествена информация – данни от измервания и модели, и са изчислени: сезонни и годишни индекси на засушаване (Standardized Precipitation Index – SPI; Standardized Precipitation Evaporation Index – SPEI; Streamflow Drought Index); индекси за ерозивност на валежите (индекс на Фурние, модифициран индекс на Фурние, индекс за концентрация на валежите) за Югозападна България и Източните Родопи. Предложена е методика за оценка на опасността от засушаване и са установени териториални различия по отношение на

проява, опасност и риск от метеорологично засушаване. Анализирано е влиянието на екстремни прояви на времето и климата върху различни сектори с акцент върху земеделието и транспортната инфраструктура.

Резултатите от изследванията формират научни приноси към изясняването на факторите за проява на екстремни метеорологични и климатични явления. Направен е задълбочен анализ на факторите за възникване и проява на засушаването – природните фактори имат по-голямо значение за възникване на засушаването, докато антропогенните фактори влияят върху силата на засушаването и въздействията. От гледна точка на пространствения обхват природните фактори могат да се групират в две групи: глобални (едромащабните циркулационни процеси в атмосферата) и локални (свързани с конкретни физико-географски и икономически особености на дадена територия – валежи, температура на въздуха, скорост на вятъра, характер на подстилящата повърхност, особености на релеф, растителност, земеползването и водопотреблението). Комбинираното действие на различни климатични фактори води до проява на различни видове засушаване. Например ограничените валежи (в комбинация с дефицит на снежна покривка) и високи температури са фактор за проява на хидроложко засушаване, докато за проява на селскостопанско засушаване водещи са температурата на въздуха и скоростта на вятъра, а не валежите, особено в райони, в които е възможно поливно земеделие. Изследвана е връзката между метеорологичното и хидроложкото засушаване и са анализирани факторите за възникване и проява на хидроложко засушаване. Потвърдена е ролята на атмосферната циркулация и локалната орография за проява на екстремно високи и ниски температури на въздуха и за проява на интензивни валежи.

С теоретично-приложно значение са резултатите, свързани с пространствените анализи на проявата, интензивността, опасността, уязвимостта и риска от засушаване, както и изследванията на ерозивността на валежите в Югозападна България, Източните Родопи и централната част на Предбалкана. На базата на кумулативната вероятност за поява на суша (определена чрез SPEI) във всяка административна единица (NUTS3), разположена в района на Долен Дунав, е изчислен индекс на засушаване. Изработените карти на разпространение на DHI показват по-голяма чувствителност към сушата в източната

част на изследвания регион (областите Разград, Русе и Велико Търново) във всички времеви скали на SPEI (Nikolova et al. 2022). „Висока“ и „много висока“ уязвимост, базирана на индикатора LULC (Land use/Land cover) на източните части на Дунавската равнина, определя високи стойности на интегрираната уязвимост от суша (DVI), докато в западните части е установена „ниска“ и „много ниска“ уязвимост, свързана с ниската гъстота на населението. Разпределението на риска от засушаване, като цяло, корелира с разпределението на опасността и уязвимостта от засушаване в изследваната област, показвайки „високо“ ниво на риск в източните и централните области на Дунавската равнина (Nikolova et al. 2022).

Според знанието на научния колектив, за първи път за територии от България е установено времето за развитие на метеорологичното засушаване в хидроложко (от 3 до 6 месеца за различни територии) (Nikolova et al. 2023). Чрез индексите за изследване на ерозивността на валежите се установява главно умерена ерозивност, но след 2020 г. се увеличават случаите с висока и много висока ерозивност. Най-голяма ерозивност на валежите е установена в планинските територии, където комбинацията от орография и атмосферна циркулация благоприятства проявата на интензивни валежи.

Анализирано е влиянието на екстремните метеорологични и климатични явления върху земеделието чрез анализ на проявата на последни пролетни и първи есенни мразове (Nikolova et al. 2021, изследвана е връзката между добивите от зърнени култури и появата на засушаване (Matev et al. 2023). Анализирано е влиянието на климатичните промени върху транспортната инфраструктура в България. Установени са различни нива на уязвимост при всички елементи на транспортната инфраструктура, като в най-голяма степен чувствителност се отчита при пътната инфраструктура (Ivanova et al. 2023).

Резултатите могат да бъдат използвани от институциите, които вземат решения при формулирането на политики и мерки за адаптиране към изменението на климата. Точното определяне на фактите, които дават обяснение за причините и последиците от екстремни метеорологични и климатични явления и защо съществува опасност, може да доведе до разработване и приложение на широк спектър от мерки и програми, които да намалят негативното влияние на бъдещи промени в

климата. Резултатите от изследванията на научния колектив биха могли да се използват при управление на риска и планиране на земеползването. В резултат от извършената работа могат да се формулират следните бележки и препоръки.

При изследване на екстремни явления пространственото осредняване на данните невинаги дава добри резултати, тъй като така се заглаждат крайните стойности. Анализите на база голям физикогеографски или административен район са полезни при разработване на стратегии или планове за развитие, но с конкретно практическо значение са локалните изследвания, които отразяват конкретните физикогеографски особености. При използването на данни от климатични модели и сценарии е необходимо да се прави верификация с данни от инструментални измервания за общ период. Въпреки досегашните изследвания и публикации, както и организирането на собствен метеорологичен мониторинг, като рисков фактор за изследването са недостатъчните метеорологични и хидроложки данни от инструментални измервания, особено за планински територии. Получаването на такива данни от НИМХ е много трудно, а за ежедневни данни – практически невъзможно. Глобалните климатични модели заглаждат различията, поради което е необходимо да се извършват задълбочени статистически и пространствени анализи, които да дават отговор на въпросите, свързани със съвременните изменения на климата в регионален мащаб. Извършените изследвания дават основание да се твърди, че засушаването е относително често явление в България, със значително негативно въздействие върху редица сектори и в частност земеделие и водоползване. Това налага необходимост от разработване на планове за управление на риска от засушаване на национално и на регионално ниво.

В работата на изследователския екип са привлечени преподаватели и изследователи от Университета „Комениус“ – Братислава, Словакия, и от Националната метеорологична администрация – Румъния, с които са разработени съвместни публикации. Резултатите от изследванията са отразени в 21 научни публикации (в т.ч. девет в издания, индексирани в Scopus/WoS, и една в книга, издадена от Springer) и са представени на 17 научни форума (в т.ч. 14 международни).

**Сред най-важните публикации на изследователския екип са:**

- Matev, S., Nikolova, N. Svetozarevic, J., 2023. Drought impact on agriculture in Northwest Bulgaria. In: *Managing Water-Energy-Land-Food under Climatic, Environmental and Social Instability. Proceedings of the 12th World Congress of EWRA on Water Resources and Environment*. [EWRA 2023]. 27 June – 1 July 2023, Thessaloniki, Greece, pp. 231 – 232. ISBN: 978-618-84419-1-0.
- Nikolova, N., Matev, S., Mochurova, M., 2024. *Climate Change in Bulgaria – Impacts and Adaptation in Agriculture*. proceedings in the Springer ASTI Book Series (Scopus), in print
- Nikolova, N., Matev, S., Pophristov, V., 2021. Rainfall Erosivity and Extreme Precipitation Months – A Comparison between the Regions of Lovech and Kardzhali (Bulgaria). 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2021. Book number 3.1. SGEM Series: SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference, pp. 389 – 396 ISSN 1314-2704. ISBN: 978-619-7603-24-8. ISSN: 1314-2704. DOI: 10.5593/sgem2021/3.1/s13.64, Scopus Q4.
- Nikolova, N., Micu, D.M., Dumitrescu, A., Radeva, K., Paraschiv, M., Cheval, S., Todorov, L., 2022. A SPEI-Based Approach to Drought Hazard, Vulnerability and Risk Analysis in the Lower Danube River Region. In: Negm, A., Zaharia, L., Ioana-Toroimac, G. (eds) *The Lower Danube River. Earth and Environmental Sciences Library*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-03865-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-03865-5_10).
- Nikolova, N., Ratchev, G., Gera, M., Krenchev, D., Matev, S., 2022. Extreme Air Temperatures at the Southwestern Slope of Pirin Mountain (Bulgaria) and related Synoptic Conditions. *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 75, no. 1, pp. 71 – 79, Feb. 2022. Scopus, Q3.
- Nikolova, N., Zlateva, P., Todorov, L., 2021. Fuzzy Logic Approach to Complex Assessment of Drought Vulnerability. In: *Fifth IFIP WG5.15 Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction, December 3–4, 2020, Sofia, Bulgaria; Revised Selected Papers in IFIP Advances in Information and Communication Technology* (Editors: Yuko Murayama, Dimiter Velez, Plamena Zlateva), vol. 622, pp. 304 – 320, Springer, Cham, ISSN:1868-4238, E-ISSN: 1868-422X (Scopus, SJR 2020=0.189, Q3).
- Nikolova, N., Stoyanova, R., Radeva, K., 2023. Propagation of meteorological

to hydrological drought: An example of the Middle Struma Valley, Bulgaria. 12th World Congress on Water Resources and Environment (EWRA 2023). “*Managing Water-Energy-Land-Food under Climatic, Environmental and Social Instability*”. Thessaloniki, Greece, 27 June – 1 July 2023. *Proceedings*. ISBN: 978-618-84419-1-0.

Nikolova, N., Matev, S. Rachev, G., Ivanova D., 2021. Characteristics of first and last frost occurrences and the length of frost-free season in Bulgaria. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 22, Issue 1, pp. 85 – 94.

Nikolova, N., Yanakiev, D. 2020. Climate aridity in southern Bulgaria for the period 1961-2015. *Forum geografic*, vol. XIX, no. 1, pp. 10 – 17. doi:10.5775/fg.2020.010.i .

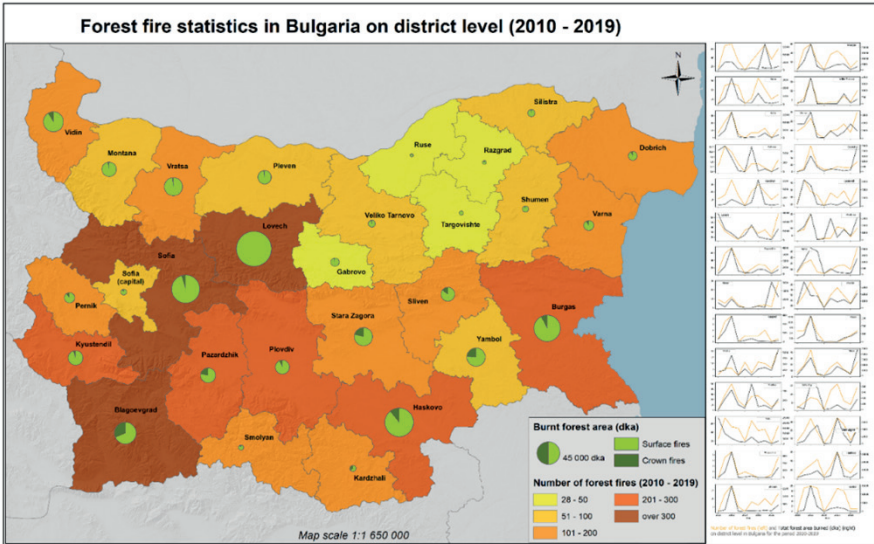
Nikolova, V.; Nikolova, N.; Stefanova, M.; Matev, S., 2024. Annual and Seasonal Characteristics of Rainfall Erosivity in the Eastern Rhodopes (Bulgaria). *Atmosphere*, vol. 15, p. 338. <https://doi.org/10.3390/atmos15030338> (Scopus, WoS).

Radeva K., N. Nikolova, 2020. Hydrometeorological Drought Hazard and Vulnerability Assessment for Northern Bulgaria. *Geographica Pannonica*, vol.24, Issue 2, pp. 112 – 123.

Stoyanova R., Nikolova N. 2022. Meteorological Drought in Southwest Bulgaria during the Period 1961 – 2020. *J. Geogr. Inst. Cvijic*, vol. 72, no. 3, pp. 243 – 255 Q3, Scopus.

### **Изследване, моделиране и оценка на опасността и риска от пожари**

Екипът е ръководен от доц. д-р Нина Добринкова от ИИКТ – БАН, в сътрудничество с програмистите Вълко Стойков и Андриана Златкова. Събрана, обработена и подложена на сравнителен анализ е значителна по обем информация относно пожароопасните зони в България (фиг. 1). Тя е базирана на годишните отчети на Изпълнителна агенция по горите, на разработки, прилагачи Методиката за определяне на риска от горски пожари в страната (разработена от К. Любенов, 2016, за нуждите на мярка 8 „Инвестиции в горските територии – развитие и подобряване на жизнеспособността на горите“ от ПРСР (2014 – 2020 г.) и годишните доклади на Европейската система за следене на горските пожари в Европа (EFFIS).

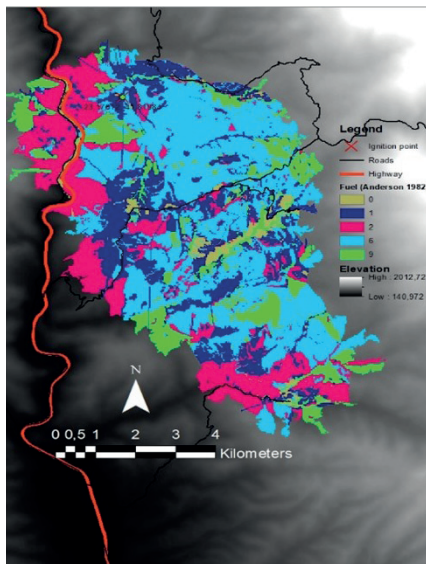


**Фигура 1.** Пожароопасност в страната, по статистически данни за периода 2010 – 2019

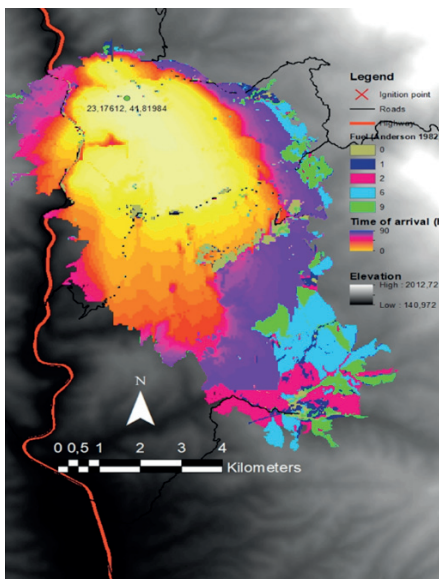
Въз основа на получените данни е предприето задълбочено проучване на пожара в Кресненското дефиле от 24 – 29 август 2017 г., като най-голямо събитие от гледна точка на засегната инфраструктура и нанесени щети. Използван е полуемпиричният модел на Ричард Ротермел (1982 г.) за симулиране на горски пожар. Събрани са данни за терена, метеорологичната обстановка в деня на възникването на пожара и характера на растителността, класифицирана на база на световните добри практики с горивни модели по методите на Андерсон (13 класа от 1982 г.) и Скот-Бърган (40 класа от 2005 г.). Реализирани са теренни наблюдения преди финализирането на горивните модели.

Обобщената карта за горивни модели (фиг. 2) даде като резултат таблица с препоръки, която да се ползва при моделирането на горивни модели. Симулацията на горския пожар в Кресненското дефиле показва голямо съвпадение с реално развилия се пожар (фиг. 3): географските координати, посочени на картата, обозначават най-вероятната точка на запалване на пожара.





Фигура 2. Горивни модели за зоната за горския пожар от август 2017 в Кресненския пролом



Фигура 3. Симулация на горския пожар в Кресненското дефиле

Изследванията показаха, че коректността на метеорологични данни за зоната по време на пожара пряко се отразява върху симулацията на горския пожар, неговото разпространение и засегнатата площ. На това основание бе закупена и инсталирана метеорологична станция „Метео-Бот“ на територията на Държавно горско стопанство – Кресна, с любезното съдействие на Югозападното горско стопанство в Благоевград. Станцията се охранява в рамките на кула за наблюдение и локализиране на дим в горските територии на Кресненското дефиле. Данните, които станцията предава в реално време (всеки 15 мин.) към сървър в ИИКТ – БАН и визуализира на мобилното приложение, са предоставени за ползване на горските стопанства, които са в близост до станцията (община Кресна). Цялата информация е реализирана и в уеббазирана система, хоствана в ИИКТ – БАН, с уеб-адрес: <https://riskmap.bg/>.

Резултатите от реализираните изследвания дават основание да се препоръча да се подобри пожароопасният индекс за страната, който и към днешна дата се ползва на база Методиката за определяне на риска от горски пожари в страната (К. Любенов, 2016); за изследователски цели да се осигуряват отворени метеорологични данни.

В рамките на проекта се обмениха данни и опит с колеги от Гърция, Турция и САЩ за сравняване на растителните горивни модели и тяхната приложимост при симулиране на поведението на горски пожари в южна България.

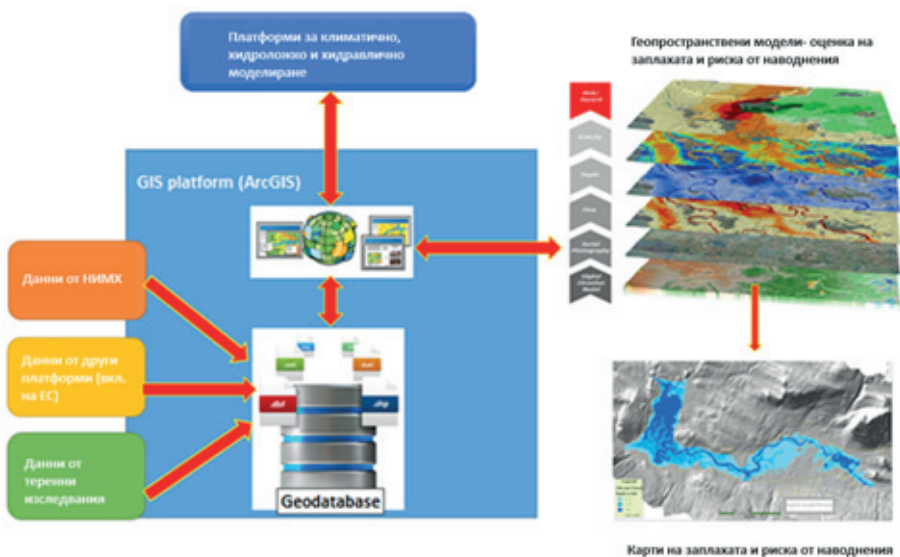
### **Сред най-важните публикации на изследователския екип са:**

Dobrinkova N. “Bulgarian platform for natural hazards data collection and decision support in field operations”, Lecture Notes in Networks and Systems, Special Issue: “Environmental Protection and Disaster Risks”, 2nd International Conference on “Environmental protection and disaster Risks (EnviroRisks2022)” 6 – 9 June 2022, Sofia, Bulgaria, ISBN: 978-303126753-6, DOI: 10.1007/978-3-031-26754-3\_31, ISSN: 2367-3370, e-ISSN: 2367-3389, vol. 638, Springer Book Series, 2023, pp. 361 – 370.

Dobrinkova N. “Data accuracy challenges in wildland fire simulations”, EnviroRisks 2024 in Sofia, Bulgaria. 4 – 6 June 2024, Springer proceeding book (accepted).

## Методи и модели за оценка на опасността от наводнения и други неблагоприятни/катастрофални хидроферни явления

Екипът е ръководен от доц. д-р Стелиян Димитров – Софийски университет „Св. Климент Охридски“, подкрепен от доц.д-р Биляна Борисова, ас. Мартин Илиев и ас. Лидия Семерджиева, и с участието на изследователи от УАСГ – проф. д-р Николай Лисев и НИГГГ – БАН, проф. д-р Марияна Николова. Целта на изследователската програма е разработването на цялостна методология за картиране и оценка на заплахата от наводнения чрез интегрираното прилагане на съвременни геоинформационни решения (фиг. 4). Последните включват както традиционни инструменти, базирани на Географските информационни системи (ГИС) и платформите за хидроложко и хидравлично моделиране, така и съвременни технологични решения чрез цифрова фотограметрия и наземно и въздушно лазерно сканиране за осигуряване на прецизни геоданни, необходими за актуалното картиране, моделиране и оценка на заплахата и риска от наводнения.



**Фигура 4.** Обща схема на разработената методология за картиране и оценка на заплахата от наводнения чрез интегрираното прилагане на съвременни геоинформационни решения

Основната оптимизация и иновативност на разработената методология е възможността при оценката да се използват най-актуални и прецизни геопространствени данни, които адекватно да отразяват географските и геометричните характеристики на изследваните територии. За целта екипът разработи общ интегриран подход, който включва система за бързо картографиране, основана на безпилотни летателни системи (БЛС), поради способността им да заснемат данни за терена със забележителна точност и ефективност. В разработената методология е залегнало интегрираното използване на три основни групи технологични инструменти.

1) Цифрова фотограметрия, основана на метода SfM (structure from motion), базиран на БЛС с фиксирано крило. Този тип платформи за разлика от по-популярните мултироторни системи, предполагат по-дълги полети с по-висока скорост, което е необходимо условие за осигуряване на относително единна геопространствена информация за големи територии. В изследователския процес е използвана БЛА с фиксирано крило, модел eBeeX (фиг. 5), произведен от компанията AgEagle Aerial Systems. Този тип БЛС е единствената сертифицирана платформа от клас А2, която може да лети над населени места, както и в ситуации извън постоянната визуална видимост (BVLOS). За събиране на необходимата информация платформата е оборудвана със специален фотограметричен сензор.

2) Система за въздушно лазерно сканиране MD LiDAR 1000 HR (High resolution) (фиг. 6). Системата е производство на германската компания Microdrones и е базирана на лазерен скенер Velodyne PUCK VLP-16, camera: SONY IMX264. Геореферирането се основава на Inertial measurement unit (IMU) APX-15 UAV, производство на Aplanix. Системата е в състояние да генерира до 360 points/sq.м от 70 м височина с позиционна точност до 3 см.



Фигура 5. eBeeX, тип „фиксирано крило“



**Фигура 6.** MD LiDAR 1000 HR (High resolution)

3) GEOSLAM (фиг. 7) мобилен лазерен скенер, базиран на подхода Simultaneous location and mapping. Той позволява прецизно картиране на мостове и други хидротехнически съоръжения. Производство е на компанията FARO, като има възможност да бъде инсталиран на различни платформи, включително и да оперира „от ръка“. Може да събира до 300 000 точки в секунда с геометрична точност 6 мм.

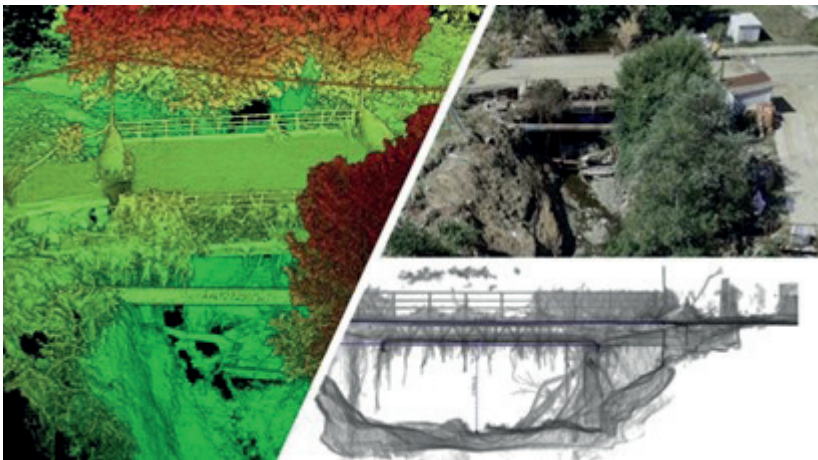


**Фигура 7.** Система за лазерно сканиране GEOSLAM ZEB Horizon

Разработената методика беше приложена в райони с висок потенциален риск от наводнение (РЗПРН), но най-детайлни изследвания бяха извършени в гр. Царево, който на 5 септември 2023 г. бе засегнат от на-

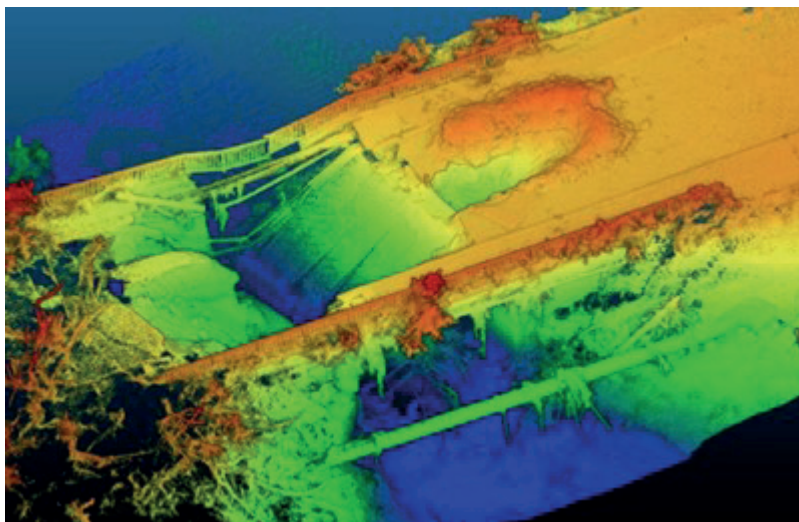
воднение (централните части на град Царево и курортна зона „Нестинарка“), отнело живота на четирима души и причинило значителни материални щети. Изследването бе проведено в два етапа: септември 2023 г., непосредствено след бедствието, и вторично изследване – юни 2024 г.

Данните от изследването ясно показват, че основните причини за възникването и развитието на внезапното наводнение са свързани с три основни групи фактори: значителни валежни количества (по данни на НИМХ най-високи са стойностите при станция Кости, където са регистрирани около 330 мм валеж (л/кв.м) – това са над 440% от месечната климатична норма), специфичната география на района (водосборът на река Черна е малък – около 7 кв. км, с отличителна издължена форма в запад-източно направление и къси склонове, което пряко е спомогнало за бързото оттичане на водите към ниските части и е довело до бързото формиране на приливната вълна с широк фронт – около 300 м), и човешкият фактор (в двата водосбора, обект на анализ – река Черна и Лисево дере, това се свързва с промените в земеползването, разположението и характера на мостовите съоръжения) (фиг. 8). Получените данни (фиг. 9) ни дават основание да допуснем, че вторият мост на река Черна, разрушен вследствие на вълната, е неправилно оразмерен и разположен спрямо геометрията на речното легло и прилежащата му топографска повърхност.



**Фигура 8.** Мостово съоръжение при търговски обект „Лидъл“  
(модел от лазерно сканиране)

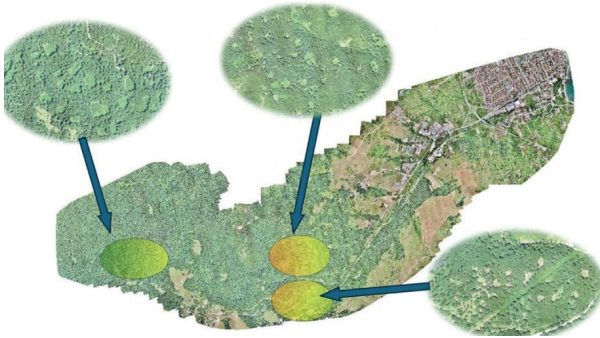




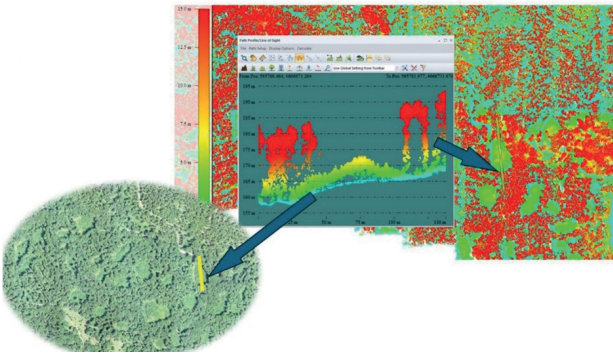
**Фигура 9.** Разрушеният мост в долната част на р. Черна

През юни 2024 г. е осъществено второ изследване във водосбора на река Черна чрез цялостно фотограметрично заснемане и лазерно сканиране. Данните дават основание да се оцени ролята на горската растителност за смекчаване ефекта на високите речни вълни при риск от наводнение: чрез пряка регулация на повърхностния отток и преразпределение на водите към почвите и подпочвените водни тела и индиректно – чрез осигуряване на грапавост на терена (важен фактор за механизма на формиране на оттока и потенциалната приливна вълна). Тези ползи обаче зависят от доброто екологично състояние на горските насаждения и плътността на покритието им. Резултатите от изследването показват, че развитието на град Царево е довело до редуциране на горските площи и ограничаването им само до горната част на водосбора (фиг. 10), където са нанесени допълнителни промени в структурата на покритието. Тази обстановка лишава територията от регулиращите функции на горите и повишава риска от възникване и протичане на наводнения (фиг. 11).





**Фигура 10.** Територии с осъществявани сечи и липса на горска растителност



**Фигура 11.** Територии с осъществявани сечи и липса на горска растителност – теренен профил

Въз основа на постигнатите резултати изследователският екип препоръчва спешно обследване и детайлно картографиране на всички водосбори, оттичащи се в населените места и курортните зони на юг от град Приморско, и създаване на прецизни цифрови модели на долните течения на странджанските реки. Обхватът следва да включва териториите непосредствено до и в населените места, като трябва да бъдат картирани и оценени всички проблемни участъци и идентифицирани рискови зони. Заснемането чрез прецизни технологии и инструменти следва да осигури актуална и детайлна информация за географията на тези територии, конфигурацията и разпределението на различните видове обекти, включително да определи места за почистване на речните корита и други мероприятия, насочени към смекчаване на риска. На-

ложително е създаването на цифрови модели на мостовите съоръжения, тяхното каталогизиране и техническа оценка на състоянието и пригодността им в съответствие с географските и климатичните условия. Препоръчителна е детайлна оценка на процесите на поддържане на горите в района и изготвяне на подробни предписания за планиране и осъществяване на горските сечи в проблемните водосбори и други рискови територии в обхвата на Южното черноморско крайбрежие и Странджа.

**Сред по-важните публикации на изследователският екип са:**

- Dimitrov, S.; Popov, A.; Iliev, M., 2021. An Application of the LCZ Approach in Surface Urban Heat Island Mapping in Sofia, Bulgaria. *Atmosphere*, no. 12, p. 1370. <https://doi.org/10.3390/atmos12111370>
- Borisova, B., S. Dimitrov, I. Ihtimanski, L. Semerdzhieva, S. Valchev, and M. Iliev, 2023. Geospatial localization analysis of green infrastructure development assumptions in urbanized areas concerned by air quality: the case of Sofia Municipality, Bulgaria, Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2023), 127860U (21 September); <https://doi.org/10.1117/12.2680839>.
- Dimitrov, S., B. Borisova, M. Iliev, and L. Semerdzhieva, 2023. Application of thermal photogrammetry in local climate zones definition for urban heat island effect assessment and mapping of the city of Burgas, Bulgaria, Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2023), 127860V (21 September); <https://doi.org/10.1117/12.2681776>.
- Gikov, A., S. Dimitrov, M. Iliev, L. Todorov, and N. Nikolova, 2023. Integrated application of remote sensing data for mapping the landslide vertical deformations, Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2023), 1278619 (21 September); <https://doi.org/10.1117/12.2681768>.
- Iliev, M., S. Dimitrov, K. Naydenov, S. Petrov, and I. Ivanov, 2023. Integrated application of UAS-based and geoinformation tools for studying urban mobility patterns in urbanized territories: the case of Sofia, Bulgaria, Proc. SPIE 12786, Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2023), 127860W (21 September); <https://doi.org/10.1117/12.2681738>.

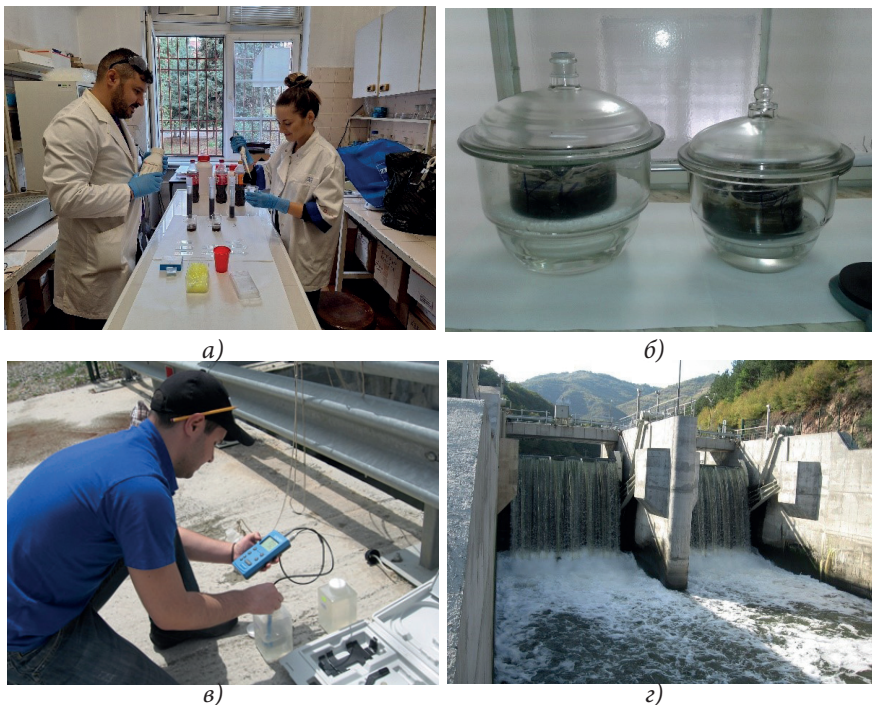
## **Екологични последици за водните ресурси при рискова деакумулация и разпространяване на токсични замърсители след наводнения**

Изясняването на ролята на рисковите хидрологични събития за динамиката на органиката и биогените в повърхностните водни тела като възлов елемент от функционирането и екологичната пълноценност на хидроекосистемите, както и оценката на екологичните последици за водните ресурси при рискова деакумулация и разпространяване на токсични замърсители след наводнения са основни задачи на изследователския екип на Биологическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, координиран от доц. д-р Ивайло Йотинов и състав: доц. д-р Йована Тодорова, гл. ас. д-р Нора Динова, доц.д-р Ирина Шнайдер, докторант Магдалена Богданова, проф. д.б.н. Яна Топалова.

Изследвана е речната екосистема на МВЕЦ – „Среден Искър“. Проведени са експерименти във връзка с рисковата деакумулация и разпространение на токсични замърсители. Целта е да се направят подробен анализ и оценка на риска, свързан с биодеградацията и разпространението на замърсители във води и седименти. Използвани са хидрохимични, ензимологични и микробиологични показатели за изследване на води и седименти. Изведени са корелативните зависимости между тях. Приложеният подход дава информация, която на функционално и процесно равнище разшифрова био/екомеханизми във водните екосистеми, и по-специално в микробните съобщества. Направена е и обработка на големи бази данни, свързани с технолозираната водна екосистема в каскада „Среден Искър“. Комбинацията от изследвания позволява навлизането в най-тесните механизми на биотрансформационните процеси на води и седименти, и още по-пряко – с деакумулацията, биодетоксикацията и биодеградацията на токсични и тривиални замърсители.

Проведени са теренни изследвания в девет критични контролни точки по каскада „Среден Искър“. Лабораторните анализи включват 216 микробиологични анализа, 1080 хидрохимични анализа, 324 физико-химични анализа на води и седименти по отношение на мониторинга на каскада „Среден Искър“. При извършване на лабораторните експерименти (фиг. 12) са проведени над 250 микробиологични анализа и над 500 хидрохимични анализа на речни седименти. Създадена е бази данни

от микробиологични, хидрохимични и ензимологични показатели от води и седименти.



Фигура 12. а) и б) Лабораторни изследвания и моделни експериментални установки; в) и г) Пробовзимане от станциите при микроязовирите на МВЕЦ от каскадата „Среден Искър“

След проведените аналогови моделирания на взривно или акумулативно замърсяване на седименти с токсичен замърсител в концентрации, многократно по-високи от критичната, седиментните съобщества изпадат в интоксикационен шок. Това налага технологично, физикохимично или биоремедиационно снижение на концентрацията на токсиканта и доближаването ѝ до критичната. Едва след продължителни адаптационни процеси ксенобиотичният биодеградационен потенциал еволюира и се засилват кометаболитните и синергетичните взаимоотношения в ксенобиотико разграждащия консорциум. От изследванията с тривиален замърсител се установява, че има наличие на висока

ефективност на биодegradация на тривиалната органика, което показва, че екосистемата притежава висок самопречиствателен капацитет. Наличието на аеробни и анаеробни условия в речната екосистема се потвърждава от двуфазното усвояване на моделния тривиален замърсител, разпределението и количеството на ключовите физиологични и таксономични групи микроорганизми, както и от отключването на определени ензимни активности по време на аналогово моделирания процес. Всички тези процеси са изключително важни за самопречиствателния капацитет на речната екосистема. Умелото им управление, както и диференцирането на ключовите индикатори би довело до подобряване на общото състояние в района на каскада „Среден Искър“.

Екипът постига важни приложни резултати, които могат да се обобщят до: 1. Новости в разбирането и моделирането на рисковите фактори, които са в духа на днешните приоритети за устойчиво развитие на България; 2. Приложение на биг дейта (big data) за разбирането на ролята на отделните фактори и диференцирането им за управлението на тези фактори и като цяло, рисковите събития; 3. Приложение на аналогово моделиране за тестване и разбиране на ситуациите, в които да се осигури по-нискотоксична околна среда, което е приоритет на всички научни приоритети в Европейския съюз и „Хоризонт 2020“. Научната програма допринася за свързването, изследването и подготовката на научната основа за бъдещото интернационализиране на дейностите в тази насока.

На базата на резултатите от мониторинговите изследвания и моделирането на потенциални и реални рискови ситуации по замърсяване на екосистемата в района на Каскадата, могат да се направят следните препоръки: 1) Специално внимание да се отделя на оценката и контрола на състоянието, количеството и процесите в седиментите на микроразовирите в каскада „Среден Искър“. Паралелно да се следи замърсяването с тривиална и токсична органика; 2) Програмата за мониторинг да се обвърже със системи за ранно предупреждение за изтичане и мигриране към река Искър на замърсители с тривиален и токсичен характер. И това да залегне в оперативния план към Стратегията за развитието на водния сектор в България до 2035 год.

**По-важни публикации и научни съобщения на изследователския екип са:**

Yotinov, I., Belouhova, M., Foteva, A., Dinova, N., Todorova, Y., Schneider, I., Daskalova, E. & Topalova, Y., 2022. Application of Nanodiamonds in Modelled Bioremediation of Phenol Pollution in River Sediments. Processes, vol. 10, no. 3, p. 602.

Yotinov, I., Kirilova, M., Delcheva, I., Tagarev, G., Todorova, Y., Schneider, I., & Topalova, Y., 2023. Modeling of Effect of Pseudomonas aureofaciens AP-9 on Bioremediation of Phenol-Contaminated River Sediments. Processes, vol. 12, no. 1, p. 44.

Yotinov I. \*, S. Tsoлова, Y. Todorova, E. Daskalova, S. Lincheva, Y. Topalova Application of Big Data for Improvement of the Assessment of the Self-Purification in Water and Sediments of Cascade from SHPP Sreden Iskar, Scientific Conference “Kliment’s Days” 2020.

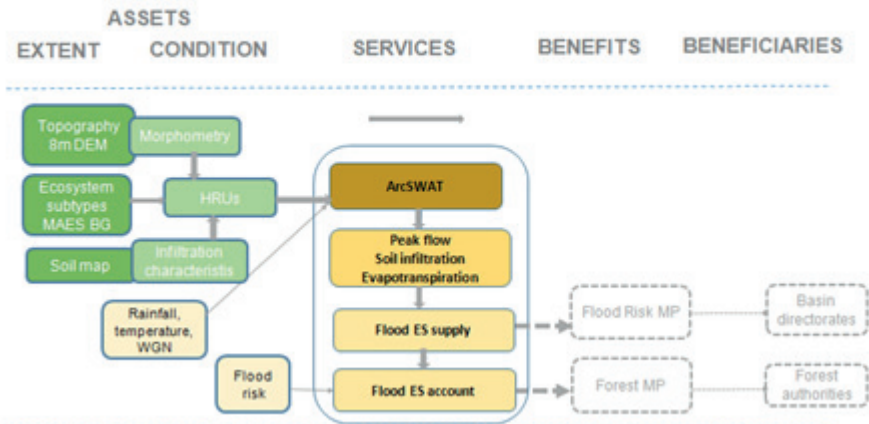
**Екосистемни услуги за регулиране на опасността от неблагоприятни явления**

Разширяването на информационната обезпеченост по отношение на възможностите за регулиране на опасността от неблагоприятни атмосферни и хидросферни явления посредством стимулиране на естествени природни механизми за регулация е предмет на изследване на екип от НИГГГ – БАН: проф. д-р Стоян Недков, проф. д-р Марияна Николова, гл.ас. д-р Христина Проданова, гл.ас. д-р Звезделина Марчева. Вниманието им е насочено към практически решения в посока превенция на опасността от неблагоприятни атмосферни и хидросферни явления и смекчаване на техните негативни последствия върху ландшафтите. Разработен е методически подход за определяне на адаптационния капацитет на екосистемите спрямо риска от климатичните промени, базиран на система от индикатори за опасността от климатичните промени на регионално ниво и устойчивостта и уязвимостта на екосистемите към климатичните промени. Подходът се базира на методическата рамка DPSIR/ДНСБО (Driving-Pressure-State-Impact-Respond (Движещи сили – Натиск – Състояние – Въздействие – Отговор), който има широко приложение и е доказал своята целесъобразност за постигане на такива цели.



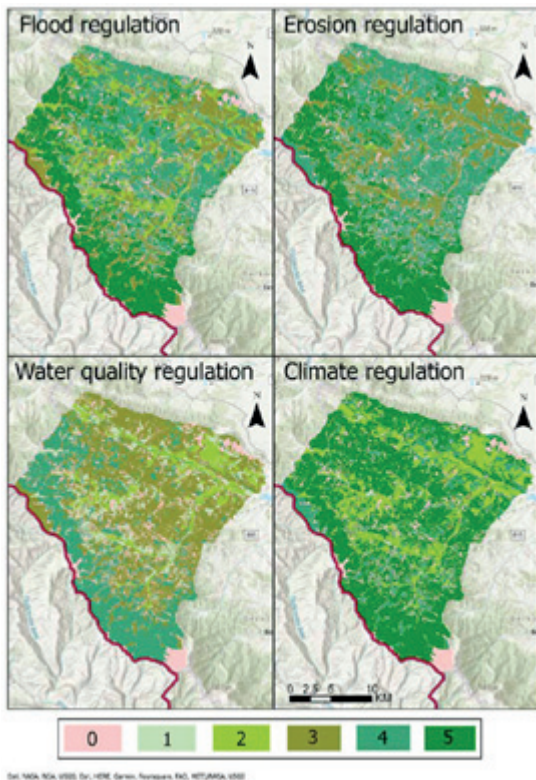
В рамките на Програмата е доразвит и прецизиран методически подход за оценка и картографиране на екосистемната услуга „Регулиране на наводнения“, базиран на хидроложко моделиране в ГИС среда. Най-съществената част в него е интегрирането на хидроложкия модел SWAT, работещ в ГИС среда, посредством приложението ArcSWAT. Подходът е приложен за два отделни водосборни басейна с различна обезпеченост с данни. За горното течение на р. Огоста са използвани данни с висока резолюция, специално подготвени за прецизно моделиране в ArcSWAT. Симулирани са случаи със слаб валеж и с по-интензивен валеж при калибрирани месечни данни. След това подходът е приложен за басейна на река Батулийска с използване на широкодостъпни данни с по-ниска резолюция. Подходът (фиг. 13 – 14) е представен като best practice example в дейност 4.2. Diagnostic of ES models, на проект SELINA (Science for Evidence-Based and Sustainable Decisions About Natural Capital, HORIZON RIA). В рамките на посочения проект са демонстрирани постиженията в областта на моделирането на екосистемните услуги, като пример за приложение в практиката на дейностите, свързани с изпълнение на Европейската стратегия за биоразнообразието в частта ѝ за картиране на екосистемите и услугите, които те предоставят.

### Flood regulation ES logic chain



Фигура 13. Прилагане на верижен модел за оценка на екосистемни услуги: тестова територия – басейн на река Огоста (Immerzeel et al. 2024)





**Фигура 14.** Избрани екосистемни услуги в басейна на река Огоста.

Потенциал за осигуряване на екосистемни услуги: 0 – няма потенциал; 1 – много нисък; 2 – нисък; 3 – среден; 4 – висок; 5 – много висок потенциал (Nedkov et al. 2023)

**Сред по-важните публикации на изследователският екип са:**

Nedkov, S., Ananiev, I., Prodanova, H., Stoycheva, V., 2023. Integrated mapping of ecosystems and assessment of forest ecosystem services at river basin scale. *Silva Balcanica*, vol. 24, no. 3, pp. 43 – 60. <https://doi.org/10.3897/silvabalcanica.24.e115856>.

Immerzeel, B., Barton, D.N., Le Clech, S., Nedkov, S., Rusch, G., Veidemann, K., I. P., Andersen, E., Bank, E., Barrios, D., Bernardo, F., Bruggeman, A., Carvalho-Santos, C., Hinsch, M., Kato-Huerta, J., Kičić, M., Kokkoris, I. P.,

Krpec, P., Lange, S., Lotan, A., Liekens, I., Łowick, D., Murgese, D., Mörtberg, U., Parretta, C., Paspaldzhiev, I., Pereira, P., Ponizy, L., Reke, A., Rendón Cardona, P., Ruskule, A., Sil, Â., Stoycheva, V., Strasser, T., Villoslada, M., Vejre, H. & Zwierzchowska, I., 2024. SELINA D4.2. Diagnostic of ES model decision-support capabilities.

### **Роля на рисковите събития за динамиката на въглерода и деградацията в горските екосистеми като елемент от функционирането и екологичната пълноценност на наземните екосистеми**

Изследователски екип на Института за гората към БАН в състав: проф. д-р Миглена Жиянски, проф. д.н. Георги Георгиев, проф. д-р Маргарита Георгиева, гл. ас. д-р Димитър Димитров и гл. ас. д-р Росица Янева, посвещава изследванията си върху изясняването на ролята на рисковите събития за динамиката на въглерода и деградацията в горските екосистеми като елемент от функционирането и екологичната пълноценност на наземните екосистеми. Изследванията са проведени в пилотни урбанизирани райони с цел проучвания на взаимодействието между естествените природно географски условия и антропогенните фактори и анализ на комплексното им влияние върху отделните компоненти на градските зелени системи. Основните задачи включват: 1) разкриване влиянието на лимитиращите климатични фактори – температура на въздуха и количество на валежите върху прираста и състоянието на дървесната компонента в градски паркове; 2) анализ на риска от наводнения на регионално ниво; 3) проучване на състоянието на почвената компонента в урбанизирани зелени зони с оглед потенциал за предоставяне на екосистемни услуги. Съществена част от проучванията обхваща ролята на рисковите събития за динамиката на въглерода и деградацията в горските екосистеми като елемент от функционирането и екологичната пълноценност на наземните урбанизирани екосистеми.

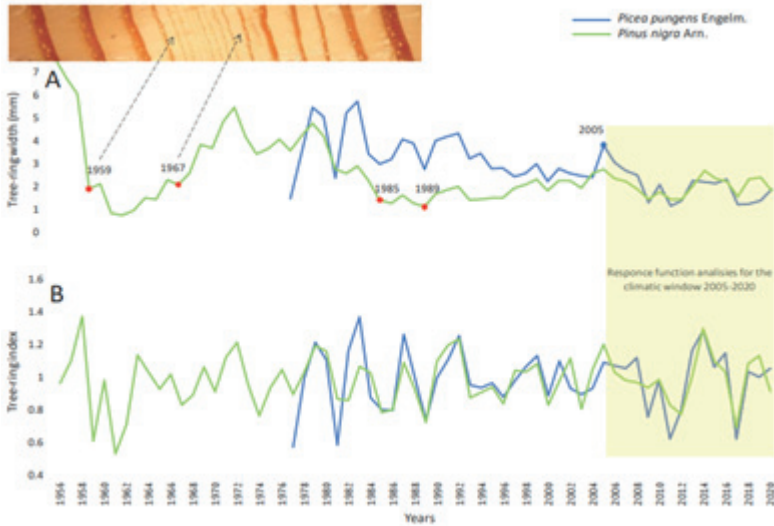
Приложен е интердисциплинарен подход на работа, с интегриране на иновативни аналитични методи и стандарти: пробонабиране и обследване in-situ, дистанционни методи за събиране на данни – сателитни наблюдения и наблюдения с безпилотни летателни средства, лабораторни анализи на нова апаратура, математическо моделиране, статистически анализи и експертна квалификация при обработката на резултатите. Обекти на проучването са урбанизирани райони в

пилотните общини Кърджали, Благоевград и София. Проучени са параметри и индикатори на зелените екосистеми и детайлен анализ на компонентите – почва и дървесна растителност. Анализирани са общо 58 броя пробни площадки, над 350 броя почвени проби и над 120 броя растителни проби, включително за дендрохронологичен анализ. В рамките на дендрохронологичните изследвания е използван многофакторен регресионен анализ за установяване на функционалната зависимост „климат – радиален растеж“.

Анализът на отговора на изменението на климата при местни и интродуцирани иглолистни дървесни видове в зелените зони на Кърджали – черен бор (*Pinus nigra* Arn.) и сребрист смърч (*Picea pungens* Engelm.), бе извършен посредством прилагане на регресионен модел за дендрохронологични изследвания, тестван в климатичен прозорец със сегмент от 16 години – от 2005 до 2020 г. Като предиктори за радиалния прираст са използвани данните за температурата на въздуха и месечните количества на валежите за Хидрометеорологична станция (ХМС) – Кърджали. Установи се, че и двата дървесни вида се характеризират с добри растежни параметри и са подходящи за градско озеленяване. В анализирания период растежна депресия (т. нар. в лесовъдството – упадък на горите), не е установена. Такава е установена за 80-те и 90-те години на миналия век при черния бор (фиг. 15). Една от основните причини за доброто състояние на дърветата е достатъчното количество валежи и снеговалеж през зимния период и неутрална реакция на тези два вида към температурите през юли, август и септември. Възможно обяснение за липсата на растежен стрес през последните 20 години може да бъде младата възраст на дърветата, което изисква допълнителни интердисциплинарни изследвания.

Разработен е метод за оценка на риска от наводнения в населените места в Югозападна България, базиран на експертна оценка на потенциалната опасност от наводнения на територията. Методът е приложим на ниво водосбор и на ниво административен район. Потенциалната опасност от наводнения е най-голяма за шест от градовете на област Благоевград и за две от по-големите населени места, а останалите девет са с висока степен (фиг. 16). Общата оценка на риска от наводнения за всички населени места в областта е „висок“. Въз основа на оценката на риска в селища с население над 2000 души на ниво общи-

на перспективата за подобряване на регулиращите екосистемни услуги на градските райони в област Благоевград е свързано с увеличаване на зелените площи в населените места. Специално внимание изискват градските зони с лоша оценка, където градоустройствените специалисти и ландшафтните архитекти могат да обмислят подходящи действия за управление на риска от наводнения, като се фокусират върху зелените площи на локално ниво.



**Фигура 15.** Пример за растежна депресия при черен бор (*Pinus nigra* Arn.) през 80-те и 90-те години на XX век в градски парк „Простор“ – Кърджали

Извършени са анализи на данни за избрани характеристики на повърхностния 0 – 10 см почвен слой на градски почви в София. Бяха взети проби от почви от 30 експериментални парцела в рамките на геореферирана мрежа, обхващаща градски и крайградски територии. Концентрациите на тежки метали Cu, Zn, Pb и Fe бяха анализирани, за да се определи нивото на замърсяване, докато рН на почвата, катионно-обменният капацитет (СЕС), общото съдържание на въглерод и общ азот бяха използвани като индикатори за оценка на регулиращата екосистемна услуга „качество на почвата“. Резултатите показаха разликите в потенциала на четири функционални зони – зелени зони, индустриални зони, жилищни зони и зони за градско земеделие, за ре-



Разработките и резултатите от работата по проекта дадоха възможност за установяване на международни контакти с колеги от водещи научни центрове. В Института за гората – БАН, се подготвя задочен докторант от чужбина с дисертационен труд, свързан с темата на проекта. Резултатите от проекта са публикувани и обсъдени с широк кръг специалисти, а проучванията ще продължат в рамките на COST акция на ЕС.

**Сред по-важните публикации на изследователския екип са:**

- Zhiyanski, M., Sokolovska, M., 2021. Analyses on the general characteristics of soils in urban forest. Local and regional aspects of natural hazards, „Az-buki“ National Publishing House, pp. 65 – 76.
- Dimitrov, D.P., Zhiyanski, M., 2022. Dendrochronological analysis of the influence of climate on autochthonous and introduced coniferous tree species in the city park „Prostor“, Kardzhali. *Silva Balcanica*, vol. 23, no. 1, pp. 11 – 19. Pensoft, DOI:doi: 10.3897/silvabalcanica.23.e79249.
- Marinov, I., Pavlova-Traykova, E., Zhiyanski, M., 2023. Flooding risk assessment in urban territories in Blagoevgrad district. *Forest Science*, vol. 59, no 1, pp. 18 – 26,
- Todorova, E., Zhiyanski, M., Todorov, L., 2023. Using high precision climate data for wildfire risk assessment. *Silva balcanica*, vol. 24, no. 1, Pensoft, DOI:10.3897/silvabalcanica.24.e101192.
- Todorova, E., Zhiyanski, M., 2023. Study on soil quality in different functional zones of Sofia region. *One ecosystem*, no. 8, pp. 1 – 17. Pensoft, DOI:10.3897/oneeco.8.e101381.

**Оценка на уязвимостта и риска от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления върху интензивно развиващите се туристически райони в страната**

Основната цел на изследователски екип от Геолого-географския факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ – проф. д-р Васил Маринов, проф. д-р Мариана Асенова и доц. д-р Раденка Митова, е да се оцени уязвимостта и риска от неблагоприятни климатични явления на интензивно развиващи се туристически ареали или такива, силно зависими от туризма в България. Въз основа на специално разработени критерии са селектирани 33 общини в страната. Определен е туристическия профил на тези ареали в зависимост от доминиращия вид туризъм и средата,

в която той се развива. Въз основа на налични климатични данни за селектираните общини са идентифицирани, анализирани и оценени рисковете от неблагоприятни климатични явления за туристическия сектор. На тази основа са дадени препоръки за предприемане на мерки за преодоляване на рисковете.

Проучването разработва ГИС базиран инструмент за интегрирана оценка на рисковете и уязвимостта на интензивно развиващи се туристически ареали, който отчита локалните тенденции на изменение на климата и проявата на неблагоприятни климатични явления, от една страна, и от друга – профила на туристическия сектор, предвид характеристиките на местния туристически продукт и средата, в която се развива. Този подход ясно онагледява климатичните рискове за туризма на местно ниво и позволява формулирането на конкретни мерки за преодоляване на заплахите и адаптация към променящите се климатични условия. За концептуализацията на проучването са прегледани са над 80 научни публикации относно дефиниране на понятията риск и уязвимост и подходите за тяхната оценка, дефиниране и типология на екстремни климатични явления и възможните последствия за туризма от тяхното проявление. Проучени и анализирани са публикации за проявата на екстремни хидроклиматични явления в България и последствията за българския туризъм. Разработена е ГИС базирана методика за определяне на интензивно развиващи се туристически ареали или такива, силно зависими от туризма в България. Определен е профилът на отделните ареали в зависимост от доминиращия вид туризъм и средата, в която той се развива. Издирени са и са събрани в ГИС локални климатични данни за неблагоприятни климатични явления за интензивно развиващите се туристически ареали в България. Разработена е и е приложена методика за оценка на риска и уязвимостта от неблагоприятни климатични явления на интензивно развиващите се туристически ареали в България. Формулирани са предложения и препоръки за предприемане на мерки за преодоляване на рисковете и адаптиране на туристическия сектор към променящите се климатични условия.

Резултатите показват, че общата тенденция на повишаване на температурата засяга главно морските и планинските ски ареали, която ще доведе до промени в продължителността и интензивността на активния



туристически сезон. Повишаването на зимните температури, което ще причини скъсяване на ски сезона, засяга в различна степен туристическите планински ареали. Най-засегнати от този процес са старопланинските ски зони, тези във Витоша и ски зоните в община Самоков. По-слабо засегнати са общините Банско и Разлог. Не се наблюдава съществено затопляне на зимите в общините Смолян, Чепеларе и Девин. Общото покачване на летните температури ще се отрази неблагоприятно (намаляване на интензивността на активния туристически сезон и повишаване на разходите за охлаждане) на морските и градските туристически дестинации. Особено засегнати са общините по Северното Черноморие – Аврен, Долни чифлик и Бяла, а от градските дестинации – Столична община, Пловдив, Велико Търново и Русе. Тенденциите в изменението на валежните количества, като цяло, са неблагоприятни за туристическия сектор и показват драстично засушаване в планинските ареали (без Девин, Смолян и Чепеларе), от една страна, и покачване на годишната сума на валежите в останалите ареали, и особено значително в морските общини Балчик, Варна, Аврен, Долни чифлик, Бяла и Царево, както и в Столична община и Сандански, от друга. Зимните валежи показват драстично намаление в планинските ареали (повече от 30%), което засяга преди всичко ски дестинациите в общините Троян, Сапарева баня, Долна баня, Банско и Разлог. Същевременно при общините Девин, Смолян и Чепеларе се наблюдава повишаване на зимните валежи или не се регистрира изменение. От летни засушавания страдат общините Хисаря, Павел баня, Трявна, Габрово, Сапарева баня, Самоков, Долна баня, Банско и Разлог. От друга страна, неблагоприятното повишаване на летните валежи за морския туризъм засяга всички черноморски общини, но особено осезаемо Каварна и Царево.

Тенденцията на намаляване на ледените и мразовитите дни е благоприятна за всички туристически ареали, но драстичното увеличаване на горещите дни и тропическите нощи (повече от 12 дни) засяга особено остро всички черноморски общини. Най-силно засегнати от горещи вълни (продължителни периоди с горещи дни) са общините Сандански, Пловдив, Русе, Хисаря и Павел баня. Благоприятна е тенденцията на намаляване на обилни летни извалявания. През зимата обаче снежни бури и навявания показват повишена честота в общините Правец, Троян, Павел баня, Хисаря, Пловдив и Куклен. Повишаване броя на интензивните

извалявания се наблюдава в общините по Северното Черноморие.

Резултатите дават основание да се препоръча следното.

1) Разработване на стратегии за адаптиране на туристическия сектор към климатичните промени и проявата на неблагоприятни климатични явления на национално, регионално и локално ниво.

2) Предвиждане на публични средства за мерки за адаптиране на туристическия сектор към климатичните промени и проявата на неблагоприятни климатични явления.

3) Стимулиране на частни инвестиции за инициативи и мерки за адаптиране на туристическия сектор към климатичните промени и проявата на неблагоприятни климатични явления.

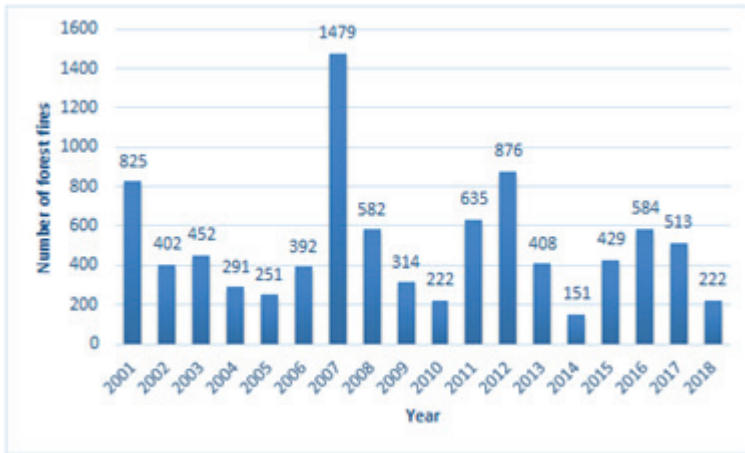
4) Навременно предоставяне на актуални данни и информация за възможните заплахи, породени от климатичните изменения и проявата на неблагоприятни климатични явления на туристическия бизнес, туристите и заинтересованите страни.

5) Провеждане на регулярни анализи и оценки на риска и уязвимостта на туристическия сектор към климатичните промени и проявата на неблагоприятни климатични явления.

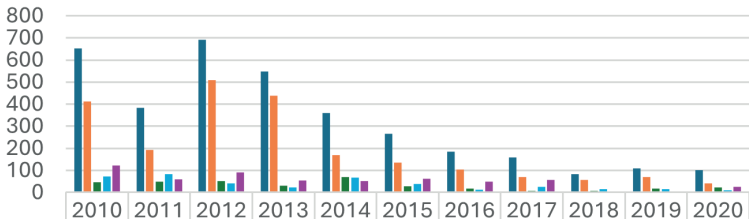
6) Търсене и въвеждане на нови технологии за ефективно използване на енергия и вода от туристическия сектор.

### **Технологични решения за изследване на опасността и системи за ранно предупреждение**

Екип на Техническият университет – София, с ръководител проф. д-р Росица Величкова и състав: проф. д.н. Радостина Ангелова, доц. д-р Елица Гиева и доц. д-р Искра Симова, анализират наличните технологични решения за ранно оповестяване на опасността от природни бедствия, както и подпомагане на тяхното управление: локализиране, ограничаване, овладяване и ликвидиране на последствията. Ранното оповестяване на природно бедствие може да помогне в екологичен и в социален план. Създадена е база данни и е направен анализ на горските пожари и наводнения (фиг. 17 – 18).



Фигура 17. Горски пожари за периода 2001 – 2018 г.



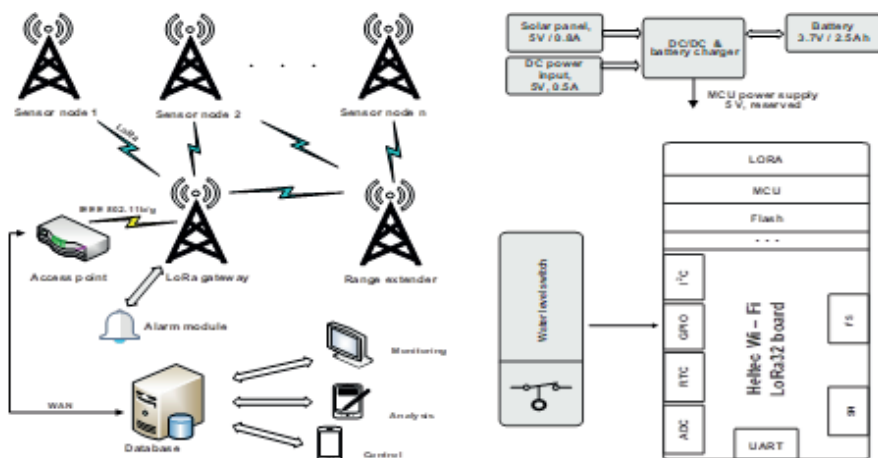
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
■ Total	651	382	692	547	360	266	184	159	84	108	100
■ South Bulgaria	411	192	509	438	170	136	104	69	58	71	42
■ North Bulgaria	46	49	51	31	71	29	19	6	8	17	22
■ West Bulgaria	72	82	41	23	68	38	13	26	14	15	11
■ East Bulgaria	122	59	91	55	51	63	48	58	4	5	25

Фигура 18. Наводнения в България в периода 2010 – 2020 г.

Създадени са технологични схеми на две системи за ранно предизвестяване – от горски пожари и от наводнения. Предложените системи са нови за България. Системата за оповестяване на наводнение ще може да бъде инсталирана на мостове преди населените места (фиг. 19). Тя е реализирана на базата на трансивъри с разширен спектър

(LoRa), които осигуряват покритие на голяма площ, като същевременно поддържат ниска консумация на енергия. Голям брой сензорни възли могат лесно да се добавят, както и един или повече разширители на обхват. С устройствата, които са тествани в рамките на изследователската програма, разстоянието между сензорен възел и портала от порядъка на около 10 км се постига извън населеното място в зони с пряка видимост и около 2,5 – 3 км в населени места и при наличие на повече сгради. Порталът, освен че изпълнява стандартните функции на информация и обмен между двете различни мрежови топологии (Wi-Fi и LoRa), в тази конкретна конфигурация също задейства алармен изход, което гарантира надеждна работа на системата дори в случай на проблеми или липса на интернет връзка. На фиг. 20 са представени основните модули на системата – сензорен възел и разширител на обхват.

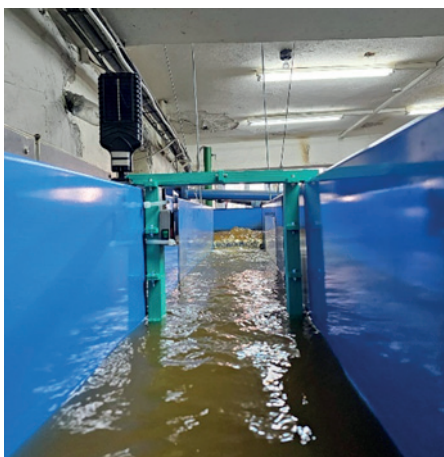
Направени са лабораторни изследвания със системата за ранно предизвествяване (фиг. 21). Изчислен е индексът на наводнение К за 19 хидрометрични станции и е направен анализ между валежите и наводненията в периода 2007 – 2018 г.



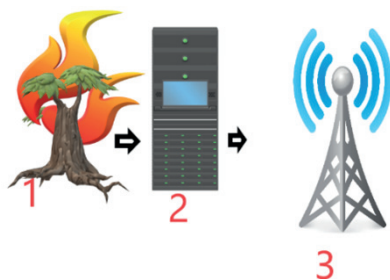
Фигура 19. Схема на предложената система за ранно предизвествяване на наводнения – общ изглед на системата и сензорен възел



**Фигура 20.** Основни модули на системата за ранно предупреждение от наводнения



**Фигура 21.** Тестване в лабораторни условия на предложената система за ранно предупреждение



**Фигура 22.** Схема на система за предизвестие от горски пожари

Система за предупреждение за горски пожари е разработена въз основа на проучвания, направени на места, където има голяма вероятност от пожари, и в близост до населени места (фиг. 22). Сензорите (1) са разположени на различни височини върху дърветата. В случай на някой от горските пожари, описани по-горе, температурата ще започне да надвишава и сензорът незабавно ще предаде на контролната точка (2) сигнал, че на мястото има пожар. ГКПП незабавно ще предаде информацията на мобилната мрежа и услугите за управление на бедствия (3).

**Сред по-важните публикации на изследователския екип са:**

- Velichkova, R., Angelova, R., Simova I., 2021. Assessment of Forest Fire Risk in South-Western Region of Bulgaria, *6th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications* (EFEA), pp. 1 – 4, doi: 10.1109/EFEA49713.2021.9406240.
- Velichkova, R., Simova, I., Angelova, R., Uzunova, M., 2021. Analysis of Hydrological Hazards Based on The Relief of Bulgaria, *6th International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications* (EFEA), pp. 1 – 5, doi: 10.1109/EFEA49713.2021.9406223.
- Velichkova, R., Gieva, E., 2022. Assessment of forest fire in Bulgaria, *E3S Web Conf.*, vol. 347, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE 2022), doi <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234705005>.
- Velichkova, R., Angelova, R., Simova, I., 2022. Flood risk assessment at Tundzha river basin, Bulgaria, *E3S Web of Conferences Open Access Volume 34714 April 2022 Article number 05004 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering, ICCEE 2022 Virtual, Online 6 January through 7 January, Code 185675*.
- Velichkova, R., Risk assessment of floods in Danube region in Bulgaria, Chap. 13, ISBN 978-93-91215-89-7.
- Velichkova, R. Angelova, R. A., Simova, I., 2023. Flood risk assessment in urban areas in Bulgaria, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1234, 012020, IOP Publishing, doi:10.1088/1755-1315/1234/1/012020.
- Величкова, Р., 2022. Математическо и числено моделиране на горски пожари – Еко Ринг София, ISBN 978-954-8997-14-0.

**ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТТА  
ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ/КАТАСТРОФАЛНИ ГЕОЛОЖКИ  
(ВКЛ. ХИДРОГЕОЛОЖКИ) ЯВЛЕНИЯ**

**Бойко Беров, Николай Добрев, Пламен Иванов**  
*Геологически институт „Акад. Страшимир Димитров“ – БАН*

**Нина Николова**  
*Софийски университет „Св. Климент Охридски“*

**Валентина Николова**  
*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“*

**Основни цели, задачи и обекти на изследване**

За да се оцени геоложката опасност от протичането на неблагоприятни и катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления, е необходимо, на първо място, да се уточнят процесите и явленията, които най-много застрашават територията на нашата страна. За целта бе направена детайлна подразбивка на Работния пакет I.9. на подпакети, първоначално на 10 подпакета, впоследствие за по-голяма яснота и прегледност – на 5 подпакета, в които се анализират конкретните геоложки опасни процеси и явления от различни аспекти. Всеки подпакет цели детайлен анализ на условията и факторите, при които даден опасен процес би протекъл с екстремна проява и разрушителна сила.

В РП.I.9.1 има за цел да бъде направен обстоен анализ на разпространението на опасните геоложки процеси и явления, условията и факторите за тяхната проява, като се наблегне на някои особености в тяхното разпространение. Тъй като опасните геоложки процеси в страната са над 60 (Илиев – Бручев и др., 1994 ) изследванията, заложен в настоящия подпакет, са фокусирани върху 4 основни катастрофални геоложки явления на територията на страната, а именно:

- свлачища;
- срутища;
- кално-каменни порои;
- активни разломи.



Осъществен е мултифакторен анализ на опасността от възникване на склонови процеси, в т.ч. оценка на влиянието на антропогенния фактор. В РП.І.9.2 се акцентира върху развитието и разпространението на опасните екзогенни геоложки явления (свлачища, срутища, кално-каменни порои) в условията и тенденциите на съвременните климатични промени и във връзка с екстремни метеорологични и климатични явления.

Едно от главните природни бедствия за нашата страна са земетресенията. Те са свързани както с първични разрушения и деформации на терените – както от директното преминаване на сеизмичните вълни, така и с протичането на вторични сеизмични процеси, – предизвикани по склоновете срутища, свлачища или в равнинни терени – хидро-разриви, втечняване и пропадане на слаби почви. Тези особености са обстойно изяснени в РП.І.9.3. В подпакета РП.І.9.4 са разработени критерии и са дадени насоките за осъществяването на мониторинг на опасните геоложки процеси, както и изграждането на системи за ранно предупреждение. РП.І.9.5 цели изработването на комплексна оценка на опасните геоложки процеси върху околната среда. Характеристиките на геоложката среда и протичащите в нея процеси, дори и да нямат характер на бедствия, имат огромно въздействие както върху качеството на живот и човешкото здраве, така и върху практически всички аспекти на човешката дейност. Климатичните характеристики и оттам глобалните водни баланси, антропогенното въздействие, непредвидимостта в редица случаи на неочаквани събития с геоложки характер е необходимо да бъдат изследвани в тяхната съвкупност, за да отговорят на основните цели, поставени в настоящата Национална научна програма „Постигане на устойчиво интегрирано регионално развитие и използване на локалния потенциал“.

### **Изследователски методи**

Изследването на свлачища, срутища и кално-каменни порои е важно за предотвратяване на рисковете, свързани с тези природни явления. Някои от методите, които бяха използвани, са следните.

## **Методология за оценка на свлачищната податливост, опасност и риск**

Тази методология използва следните техники, стъпки и последователност.

– Съставяне на карта на фактическия материал или на карта са нанесени всички известни в България свлачища и съответно срутища и кално-каменни порои.

– На базата на горните карти на фактическия материал се съставят картите на податливост на терените към съответните опасни геоложки процеси. При тях се включват и геоморфоложките участъци, където е възможно протичането и развитието на все още неприявени фази на активност от геоложките процеси и явления. Включва се също анализ на геоложки, геодезични и хидроложки данни, както и оценка на стабилността на терена.

– Следват картите на геоложката опасност или hazard за съответния процес. Най-пълна и детайлна е картата на свлачищната опасност.

– Необходима е и оценка на уязвимостта при протичането на даден опасен геоложки процес.

– След картите на геоложката опасност или hazard за даден процес се изготвят картите на геоложкия риск от тези опасности.

Така се затваря кръгът от стъпките и техниките на приложената методика за изследване и оценка на геоложкия риск.

В световната практика се използват разнообразни методи, базирани на различни принципи за оценка на геоложката опасност. В контекста на оценката на глобалните климатични промени най-подходящ е методът на Мора и Варсон (1994), отчитащ два фактора, свързани с климата.

Някои от допълнителните и конкретни методи, приложени при горните основни дейности, са следните.

### **Лазерно сканиране**

То е мощен инструмент, който се използва за наблюдение на свлачища, срутища и кално-каменни порои. Ето някои аспекти, свързани с този метод.

– Лазерното сканиране предоставя подробна пространствена информация чрез точки с координати X, Y и Z.

– Този метод създава облаци от точки, които се преобразуват в тримерни изображения с висока точност и резолюция.

– Предимствата на лазерното сканиране включват детайлност на цифровите модели на свлачища, сгради и съоръжения, разположени в техния обсег.

### **Наземно, мобилно и въздушно сканиране**

– Лазерното сканиране може да се извършва наземно (стационарен принцип), мобилно и въздушно (чрез подвижна база). Този разнообразен подход позволява наблюдение на различни типове терени.

– Лазерното сканиране позволява да се извърши детайлна оценка на състоянието на повърхнината на скалния откос за относително кратко време и съчетано с традиционни геоложки изследвания, може съществено да повиши ефективността на оценката на податливост към срутване.

В обхвата на програмата е извършено наземно лазерно сканиране (НЛС) с цел оценка на податливост към срутване, а също така сканиране на поройни дерета за оценка на промените в повърхнината (фиг. 1). За първи път за България се прилага наземно лазерно сканиране при изследване на кално-каменни порои. Технологиата позволява преход от традиционните геодезически методи (като измерване на отделни точки от терена) към анализи на тримерни модели, състоящи се от милиони точки. Това осигурява възможност за извършване на прецизен количествен и качествен анализ на наблюдаваните явления. От оперативна гледна точка, НЛС значително намалява времето за работа на терен и предоставя възможност за измерване на трудно достъпни места.

Кално-каменните порои са геодинамични процеси, които предизвикват значителни щети и бедствия. За изследването на кално-каменните порои са използвани следните методологични стъпки.

### **Картографиране и каталогизиране**

Проучването включва определяне на местата на неизследвани обекти, където може да се очаква проявата на рискови процеси. Това може да стане чрез анализ на сателитни или самолетни снимки, както и чрез анализ на архивни данни.

а)



б)



в)

**Фигура 1.** Наземно лазерно сканиране на участък с проява на опасни геолого-геоморфоложки процеси: а) скален откос в Искърския пролом; б) участък с проява на кално-каменни порои – до с. Голяма бара, община Кърджали; в) участък с проява на поройни явления, водосбор на р. Дамдере, община Кърджали

Чрез ArcGIS Pro, QGIS 2.18.11 и софтуерни продукти с отворен код са създадени карти на новоизследваните обекти, като са отбелязани местата със заложените площадки, повърхностните проби и описаните профили, а също и карти на наклоните, експозицията, на поредността на реките.

**Характеризиране на процесите:** важно е да разграничим кално-каменните потоци от водно-каменните потоци. Това помага за по-добро разбиране на процесите и тяхната динамика.

**Картиране на разпространението:** създаването на карти, които показват разпространението на кално-каменни порои, е важен

инструмент при оценката на опасността и риска. Тези карти се актуализират редовно, защото процесите са динамични.

**Анализ на факторите и предпоставките:** изследването включва анализ на факторите и условията, които допринасят за възникването и разпространението на опасни кално-каменни явления.

**Теренни проучвания:** нови теренни проучвания се извършват, за да се определят динамиката на процесите и видът на потоците. Това помага за по-добро разбиране на тяхната геоморфология и характеристики, което е от значение при изграждането на противоерозионни съоръжения.

### **Методологични аспекти на седиментоложкия и инженерногеоложкия анализ на наслаги от кално-каменни порои**

За характеристика на седиментите и условията на транспорт и акумулация се използват морфоскопски и гранулометричен (зърнометричен) анализ.

**Морфоскопският анализ** се извършва за едрата фракция (валуни и чакъл). Измерват се късовете по трите оси:  $a$  – дължина;  $b$  – ширина, и  $c$  – височина. Отношенията  $b/a$  и  $c/b$  дават информация за формата на късовете, която е показател за условията на транспорт. Определят се петрографският състав и изветрялостта на късовете. Морфоскопският анализ може да се допълни с полеви измервания на ориентировката на дългата ос на късовете.

**Гранулометричният анализ** представя разпределението на наслагите по фракции според големината на частиците. Анализът на редица публикации относно прояви на кално-каменни потоци показва, че това е най-широко използваният анализ за характеристика на условията на транспорт и акумулация на наслагите. В допълнение се прилагат още дифрактометричен и микроморфоложки анализ. Предвид публикациите в специализираната литература, извършването на гранулометричния анализ става чрез ситов анализ, комбиниран с аерометричен анализ или лазерна дифракция. Съществува различие по отношение на размерите на фракциите, обект на ситов анализ.

На базата на публикации в световната литература и опита на екипа относно прилагане на седиментоложки анализи за наслаги от кално-ка-

менни потоци са направени препоръки към бъдещи изследвания.

**Инженерногеоложките анализи** включват както **зърнометричен (гранулометричен)** анализ, така и определяне на пластичните свойства на материалите, участващи в процеса, съгласно БДС EN ISO 17892-12:2019 и БДС 648-84. В част от пробите показателят на пластичност достига до 24%, докато при други липсва.

Пробите са описани съгласно **цветовата класификация на Munsell** (Munsell Color, 2012). Цветовата класификация по Munsell показва вариации на цветовете от 10YR 7 до 10YR 5 към сивата компонента. С преобладаващо леко по-светъл цвят са отложенията в акумулационната част (10YR 7/2-4 и 6/2), докато по течението на потока са по-тъмни (10YR 6/2-4 и 5/1-3).

### **Дейности по програмата**

В глава 9 от Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ бяха извършени дейности по пет основни направления за изследване на опасните ендо- и екзогеодинамични геоложки процеси и явления.

РП. I.9.1. Анализ на разпространението на опасни геоложки процеси.

РП 1.9.2. Развитие и разпространение на опасни геоложки явления в България (свлачища, срутища, кално-каменни порои) в условията на климатични промени.

РП 1.9.3. Активни разломи и свързаните с тях теренни деформации и райониране на терените по възможна проява на вторични сеизмогенни деформации.

РП 1.9.4. Мониторинг на опасни геоложки процеси и системи за ранно предупреждение.

РП 1.9.5. Оценка на въздействието на опасни геоложки процеси върху околната среда.

За пълния обхват на тези реализирани дейности беше обединен значително голям колектив от различни институти и университети, както следва.

## РАБОТЕН КОЛЕКТИВ:

**Геологически институт при БАН „Акад. Страшимир Димитров“** – доц. д-р Бойко Беров, ръководител, проф. д-р Николай Добрев, проф. д-р Радослав Наков, проф. д-р Пламен Иванов, проф. д-р Алексей Бендереv, доц. д-р Калин Найденоv, проф. д-р Марлена Янева, проф. д-р Елена Колева-Рекалова, гл.ас. д-р Анна Лазарова, доц. д-р Петър Гергинов, доц. д-р Константин Костов, гл.ас. д-р (впоследствие доц. д-р) Мирослав Кръстанов, инж.геол., инж.геол. Росен Нанкин, докторант, инж.геол. Стефан Франгов, докторант, Бойко Велинов, техник – 15 човека.

**Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“** – проф. д-р Стефчо Стойнев, проф. д-р Стефка Приставова, доц. д-р Валентина Николова, доц. д-р Аспарух Камбуров, гл.ас. д-р Радостина Ризова-Джоза, доц. д-р Антонио Лаков, гл. ас. д-р Ина Попова, инж. геол. Виктория Тенева, инж. геол. Александър Христов, инж. геол. Нина Рангелова, инж. геол. Андрей Гинин – 11 човека.

**Софийски университет „Св. Климент Охридски“** – проф. д-р Росица Кендерова, проф. д-р Георги Рачев, доц. д-р Диан Вангелов, проф. д-р Нина Николова, доц. д-р Янко Герджиков, гл.ас. д-р Димитър Кренчев, гл. ас. д-р Симеон Матев, гл.ас. д-р Зорница Доцева, докторант – 8 човека.

**Национален институт по геофизика, геодезия и география – НИГГГ при БАН** – проф. д-р Иван Георгиев, проф. д-р Емил Ботев, гл.ас. д-р Валентина Протопопова – 3 човека.

**Институт по океанология „Фритьоф Нансен“ – ИО при БАН, Варна** – доц. д-р Атанас Василев, доц. д-р Орлин Димитров – 2 човека.

Общо по програмата са работили 38 човека, от които 13 професори, 11 доценти и 15 главни асистенти, асистенти, докторанти, инженер геолози и техници.

Работният колектив положи огромно количество труд, като извърши следните основни задачи.

Теренните изследвания надхвърлиха общо за колектива 350 човекодена средно за периода от 5 години и една година продължение на програмата.

По основните извършени дейности трябва да внесем яснота със задачите, които бяха изпълнени.



### **РП.І.9.1. Анализ на разпространението на опасни геоложки процеси**

1.1. Общ преглед на разпространението на свлачищните процеси в страната – актуализиране на наличната информация.

1.1.1. Разпространение на свлачищните процеси – Дунавски район.

1.1.2. Разпространение на свлачищните процеси – Източни Родопи.

1.1.3. Разпространение на свлачищните процеси – Черноморски район (фиг. 2, 3, 4).

1.2. Общ преглед на разпространението на срутищните процеси в страната – актуализиране на наличната информация.

1.3. Общ преглед на разпространението на кално-каменните порои в страната – актуализиране на наличната информация.

1.4. Изследване на особеностите на склоновите процеси по периферията на платата в Североизточна България.

Анализирани са факторите и предпоставки за възникване и разпространение на опасни геоложки явления (кално-каменни порои). Разширени са изследванията в басейна на реките Хърсовска, Манастирска и Първенецка (Рила), р. Бююкдере и р. Дамдере (Източни Родопи). Извършени са нови теренни проучвания и са описани формите и изграждащите ги наслаги. Извършен е анализът на геоложките и геоморфоложките предпоставки за възникването на кално-каменни потоци и дебритни прииждания в страната, и по-конкретно в района на с. Черна Места, гр. Банско, с. Първомай (Петричко) и северните склонове на Беласица, р. Манастирска (Рила) – резултатите са отразени в научни публикации. Изследвани са причините и са определени характеристиките на кално-каменните порои в долината на р. Струма и Източните Родопи – поройни дерета от водосбора на р. Арда. Резултатите са публикувани в списания, индексирани в световни бази данни.

Проведени са теренни изследвания и анализ на поройни долини в района на с. Стоб, долината на р. Хърсовска (приток на р. Благоевградска Бистрица), долината на р. Канина (община Гърмен), леви и десни притоци на р. Места южно от с. Места, водосборите около с. Фотиново (община Банско).

В процес на изследване са водосборите от северния склон на Беласица,

водосборът на р. Черна Места, водосбори от южния склон на Огражден, водосбори в южните склонове на Стара планина (Златишко, Карловско) и в района на с. Каравелово, в района на гр. Вършец. Картирана е значителна част от речното корито на р. Ботуня, особено тази част, която е най-засегната в урбанизираните територии на гр. Вършец.

Ако до края на последната година за работа по Програмата – 2024 г., наблюдаваните обекти не бъдат завършени, то теренната работа ще остане в индивидуалните планове на учените, които се занимават с тяхното изследване.

Установени са физико-механични параметри на характерни литоложки разновидности, изграждащи платата в СИ България.

За допълнително изясняване на геоложкия строеж на крайбрежната част от нос Шабла до нос Калиакра бе проведена теренна работа. Описани и опробвани са седименти от три разреза – при село Тюленово. Взети са образци за съвместни седиментоложки и инженерногеоложки изследвания. Направено е макроскопско описание на образците, които представляват различни видове варовици. Извършена е микроскопска характеристика на варовиците на базата на наблюдения на дюншлифи. Резултатите са представени в приложения (фиг. 5).



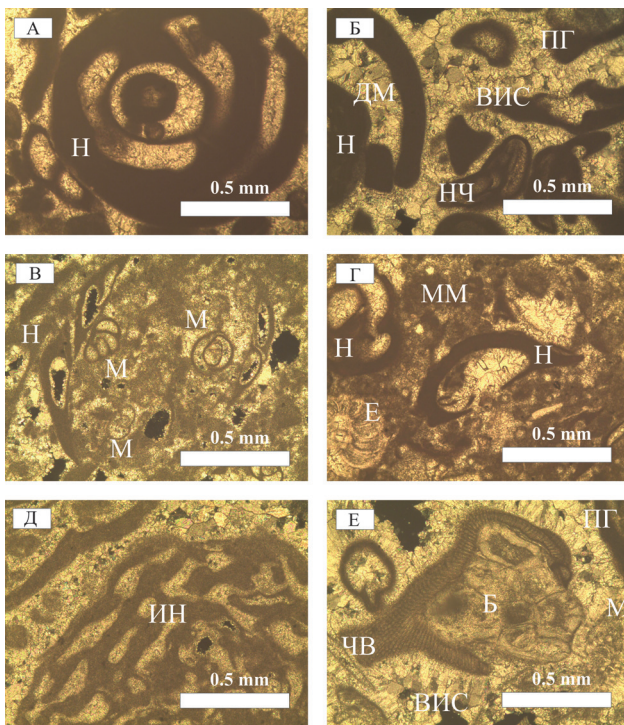
**Фигура 2.** Брегът при местността Яйлата, Камен бряг – мониторинг на сруттични и абразионни процеси



**Фигура 3.** Варовици с *Nubecularia novorossica* (разрез Яйлата), разломни и срутищни процеси



**Фигура 4.** Карбонатни темпестити (от 15 – 20-ия м на разрез Болата до 50-ия м при помпената станция). Карбонатните темпестити са представени от разнообразни варовици поради факта, че щормовете вкарват в басейна разнообразен материал



**Фигура 5.** А – напречен пререз на черупка на *Nubecularia novorossica* (Н), Ya5\_021, 11 N; Б – част от *Nubecularia novorossica* (Н) (вляво) и фрагменти от нубекуларийни черупки (НЧ), влакнеста изопахитна spojка (ВИС), полигонални граници (ПГ) и друзови мозайки (ДМ), Ya0\_007, X N; В – напречни прерези на *Nubecularia novorossica* (Н) и милиолиди (М); Г – черупки на *Nubecularia novorossica* (Н) и в долния ляв ъгъл елфидиум(?) (Е) в микритни маси (ММ); Д – част от инкрустираща нубекулария (ИН) *Sinzowella caespitosa*; Е – в центъра фрагмент от бриозоя (Б), инкрустирана от червено водорасло (ЧВ)

### РП.1.9.2. Развитие и разпространение на опасни геоложки явления в България (свлачища, срутища, кално-каменни порои) в условията на климатични промени

По РП 1.9.2 са събрани нови данни за динамиката на опасни геоложки процеси (фиг. 2, 3, 4). Получени са данни от метеостанциите за следене на валежите, монтирани по Научната програма, в Каварна, Оряхово, Ге-



нерал Гешево, Езерец, Плевен, Закупена е мониторингова апаратура – 5 бр. автоматични метеорологични TFA Nexus. Три от тях вече са инсталирани: в с. Крупник (на 18.04.2019 г.), в района на с. Кресна (октомври, 2019 г.) и в района на Ген. Гешево. От юни 2023 г. работи и инсталираната в района на Рилския манастир. Лабораторно са анализирани наслаги на реки от южните склонове на Стара планина (Златишко и Карловско).

Извършени са лабораторни изследвания (морфоскопски и зърнометричен анализ) на наслаги от кално-каменни порои от района на Кресненското дефиле, северната част на Железничкия пролом на р. Струма, басейна на р. Хърсовска, по реките Манстирска и Първенецка и във водосбора на р. Бююкдере (района на с. Голяма бара), Източни Родопи. Актуализирана е информацията по отношение на статистическите коефициенти от анализа на зърнометричния състав на седиментите.

Опробвани са нови ключови участъци във водосборите на р. Бююкдере, р. Дамдере (в долното поречие, на около 6 km преди вливането ѝ в р. Върбица) и няколко поройни дерета във водосбора на р. Боровица (Източни Родопи) (фиг. 6). Анализирани са 25 проби от наслаги от дъното и склоновете на поройните долини, ровини и оврази. Към анализите на зърнометричния състав са добавени анализи за съдържание на въглерод и азот. Извършени са опробвания (общо 22 броя проби) в дълината на р. Хърсовска.

По данни от наземно лазерно сканиране са съставени модели на терена и производни модели за участъци от водосборите на реките Бююкдере и Дамдере и е направена количествена оценка на промяната в топографската повърхнина (фиг. 7).

Актуализира се базата данни за анализ на връзката метеорологично време – опасни геоложки явления – по собствен мониторинг и по литературни източници. Анализирани са синоптичната обстановка от 27 юли 2019, довела до проява на кално-каменен порой в северната част на Кресненското дефиле, от пролетта на 2022 г. във връзка с приижданията на река Хърсовска и от август 2022 г. за анализ на приижданията на р. Манастирска. Бяха осъществявани регулярни посещения на участъци с микроклиматични измервания (района на Кресна и х. Беговица) във връзка с поддръжката и обезпечаването на наличната апаратура, както и подбор на участък и инсталиране на нова АМС в района на река Рилска.



а)



б)

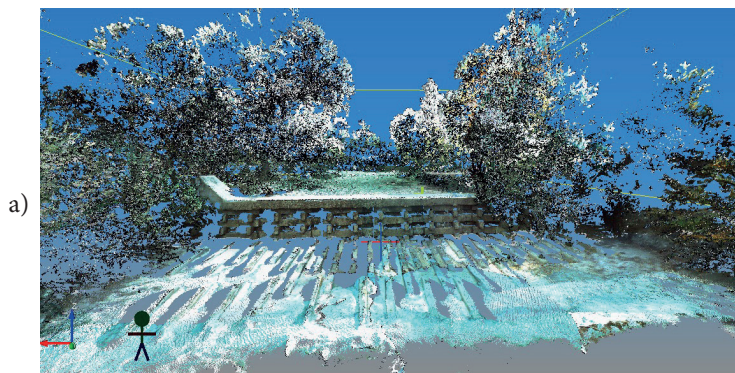


в)

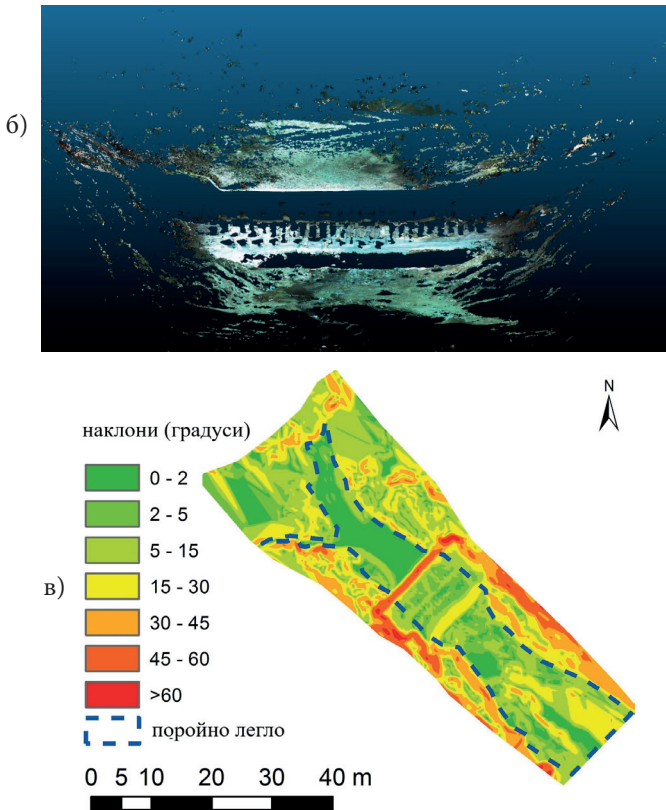


г)

**Фигура 6.** Изследвани участъци с прояви на поройни явления; а) водосбор на р. Бююкдере, участък до с. Голяма бара, община Кърджали; б) водосбор на р. Боровица, ляв приток на р. Арда; в) и г) водосбор на р. Дамдере, долно поречие, около 6 км преди вливането в р. Върбица



а)



**Фигура 7.** Участък Дамдере: а) 3D нефилтриран точков облак от НЛС; б) 3D филтриран точков облак – теренни точки; в) наклони, определени по модел на терена от НЛС

### РП.І.9.3. Активни разломи и свързаните с тях теренни деформации и райониране на терените по възможна проява на вторични сеизмогенни деформации

Направени са инвентаризация и описание на активните разломи на територията на страната. Използват се предимно налични данни и такива от дистанционни изследвания. Акцент се поставя на големите урбанизирани територии, предвид риска от възникване на деформации и земетресения в тях, които могат да засегнат важна инфраструктура.



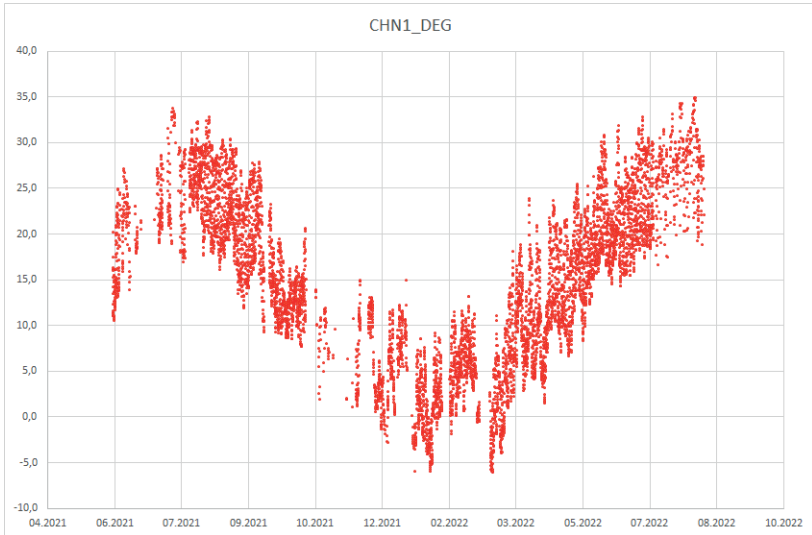
За района на гр. Банско е доказана връзката между образуването на кално-каменни потоци и активни разломи. Подробен анализ е направен за северния склон на Рила между Дупница и с. Сестримо.

Документирано е доминиране на екстензионни процеси, като на базата на термохронологички данни тези процеси са започнали през еоцена. Предполага се съществуването на две свързващи рампи: едната свързва Сапаревския с Говедарския разсед (Джерманска рампа), а другата свързва Говедарския сегмент с Костенецко-Сестримския (рампа Боровец).

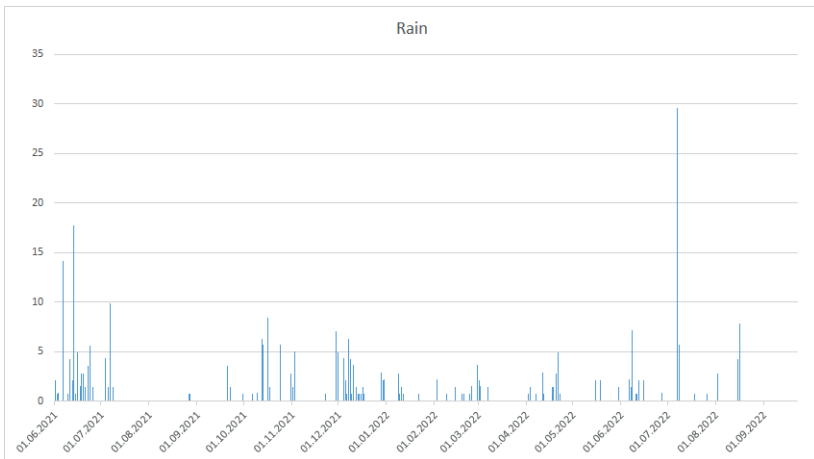
#### **РП.І.9.4. Мониторинг на опасни геоложки процеси и системи за ранно предупреждение**

Инсталирана и оборудвана е мониторингова техника в избраните полигони за геотехнически мониторинг, а именно свлачището при с. Езерец, Кърджалийско, и свлачището при с. Желен край Своге. Продължава отчитането на резултати от инклинометричните измервания на свлачището в село Енчец, община Кърджали, където свлачищните процеси са под мониторинг от 2019 г. Продължават и инклинометричните изследвания на изградените през 2019 г. 4 броя инклинометъра. Продължават и инклинометричните измервания на свлачището в квартал Езерище, град Своге, където свлачищните процеси са под мониторинг от 2020 г.

Анализът на склоновите процеси по платата в Североизточна България включва наблюдения на тяхната динамика посредством мониторингови системи за прецизно следене на бавни движения. Те включват триизмерните екстензометри ТМ-71 и цифрови марки. В допълнение към тях са включени и наблюдения на метеорологичните условия и фактори, които водят до прояви на опасни геоложки процеси. Това се осъществява чрез закупените по проекта метеостанции. Метеонаблюдения се провеждат в Североизточна България (Мадара, Каварна – фиг. 8, 9), Източните Родопи (Генерал Гешево, Енчец), Югозападна България (Крупник, Брежани, в подготовка е нова точка в Кресненското дефиле), Дунавското крайбрежие и района (Оряхово, Плевен, в подготовка е нова точка във Вардим).



**Фигура 8.** Данни за температурата на въздуха, измерена в района на Каварна (06.2021 – 08.2022 г.)



**Фигура 9.** Данни за количествата валежи в мм, измерени в района на Каварна (06.2021 – 08.2022 г.)

### **РП 1.9.5. Оценка на въздействието на опасни геоложки процеси върху околната среда**

За оценката е събирана информация за развитието на опасни геоложки процеси и тяхното въздействие върху дадени участъци и райони, където е застрашена околната среда.

Екипът работи по оценка на въздействието на кално-каменни порои върху речния отток в района на Кресненския пролом и Риломанастирска река чрез теренни наблюдения и анализ. Направен е опит за възстановка на района преди и след кално-каменни потоци.

В примерен участък във връзка с проява на водно-каменни порои във водосбора на р. Черна Места е направен анализ на антропогенната дейност като фактор за развитието на неблагоприятни процеси във водосбора.

Резултатите индикират съществената роля на структури като водохващания за засилване на процесите на дънна и латерална ерозия. Данните позволяват характеризирането на р. Черна Места като типичен пример на водосбор със засилен транспорт на кластичен материал (bedload transport), което има пряко значение за процесите на миграция на речни корита – едни от най-опасните, които се реализират при речни прииждания.

### **Получени фундаментални резултати**

Накратко, фундаменталните резултати са свързани с геоложката среда и геоложките рискове (движения по активни разломи, свлачища, срутища, кално-каменни порои) – повторемост и пространствено разпределение; оценка на възможностите за прогнозиране, ранно предупреждение и превенция.

Геоложката среда е охарактеризирана от инженерногеоложка гледна точка и са дадени фундаменталните условия, в които се развиват опасните геоложки процеси с характеристиките си на разрушителни.

Като фундаментални резултати могат да се посочат картите на свлачищната податливост, последвани от картите на свлачищната опасност и свлачищната уязвимост и риск. Усвоени са методиките за изработването и оценката на цялостния геоложки хазарт и риск.

За определените територии, обекти на настоящото изследване, са придобити фундаментални познания за основните им инженерногеоложки характеристики.

Предложени са индикатори за оценка на податливостта към проява на кално-каменни пороци, а именно: морфометрични показатели на водосборите (наклони; денивелация на водосбора, индекс на релефа; топографски индекс на овлажнението, индекс на силата на водните потоци, индекс на Мелтон, кривина/нагънатост на топографската повърхнина), водопропускливост и водозадържащ капацитет на скалите, земно покритие и земеползване, нормализиран индекс на вегетационните разлики (NDVI).

Изяснени са специфики на приложението на геопространствени технологии при изследване на кално-каменни пороци и скални откоси.

Установени са физико-механични параметри на характерни литоложки разновидности, изграждащи платата в Североизточна България. Взети са допълнителни проби за изследване) от местността Яйлата (Камен бряг) и местността Болата (фиг. 10.)

Описани и опробвани са седименти от три разреза – при село Тюленово, местност Мартинов камък и нос Шабла. Взети са образци за съвместни седиментоложки и инженерногеоложки изследвания. Така геоложките разрези са охарактеризирани с основните им геоложки и инженерногеоложки свойства.

Допълнително са взети образци от местността Яйлата и залива Болата. Изследванията са представени в приложение към отчетните доклади за 2022, 2023 и 2024 г.

Проследено е развитието на свлачища по протежение на Българския черноморски бряг с оглед на климатичните условия и променената валежна обстановка през последните 30 години.

Извършени са седиментоложки анализи на наслаги от кално-каменни пороци и са дадени препоръки за унифициране на методиката предвид световната практика.

Направена е характеристика на комплекса от синоптични ситуации и климатични условия, водещи до проявата на кално-каменни пороци. Определена е геоморфна динамика на участващи с проява на кално-каменни пороци в Източните Родопи.



**Фигура 10.** Брегът при местността Болата – мониторинг на разломни и свлачищни процеси

По работата през първата година от проекта, и по конкретно по РП-I-9-9 – влияние на геоложката среда върху химичния състав на подземните води (минерален, петрографски, геохимични особености), бяха разработени две методики:

- 1) за трасиране на подземни води под праговата концентрация на визуално откриване на флуоресцин и уранин, и
- 2) за определяне на праговата откриваема концентрация на флуоресцин и уранин при трасиране на подземни води чрез регистрация по спектъра на флуоресценция на багрилото. Изследван бе химичният състав на води, свързани с разломни структури.

След първата година подпакет РП-I-9-9 бе прехвърлен към работния пакет, изследващ хидрологията и хидрогеологията.

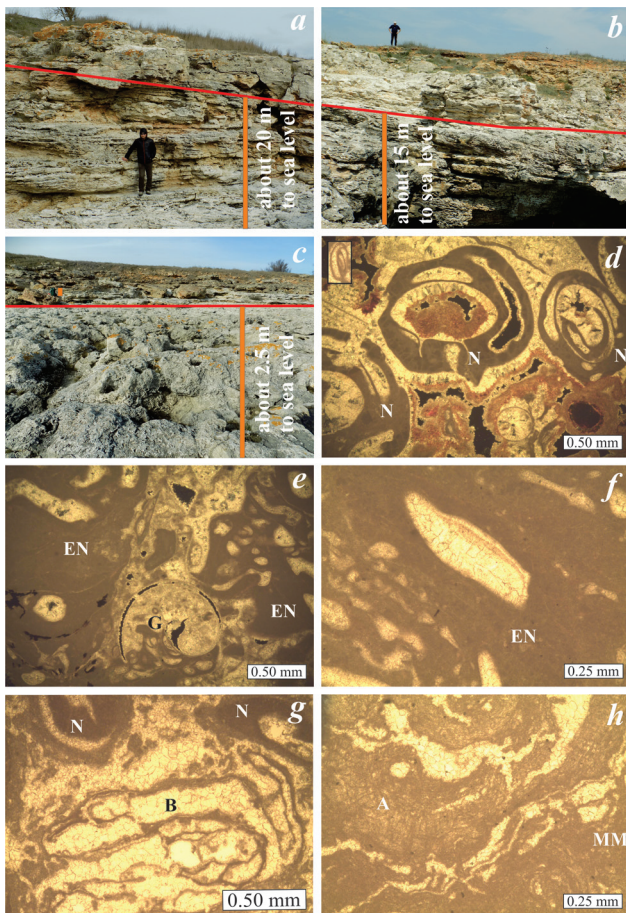
Основни и фундаментални знания бяха придобити при изследванията на платата в Североизточна България и техния контакт с Черноморското крайбрежие. Във връзка с изпълнението на задачата бяха направени съвместни седиментоложки и инженерногеоложки изследвания на сарматски карбонатни седименти от Добруджанското плато, а по-точно по Черноморското крайбрежие от нос Калиакра до нос Шабла.

На територията на Североизточна България най-добре рифова-

та постройка се наблюдава от с. Тюленово (фиг. 11a) през местността Мартинов камък (фиг. 11b) до нос Шабла (фиг. 11c). Рифовите биохерми са с дебелина от 2,5 до 4,5 м, с куполовидна форма и се разполагат над варовиците с бентосни и ендемични *Nubicularia novorossica*. Тези варовици са с бесарабска възраст (фораминиферна зона *Flintina tutkowski*, Одърската свита) и представляват грейнстоуни. Образоването на рифовите варовици се свързва с климатични и палеоекологични фактори. Съществуването на субтропичен климат (топъл, но не горещ) и соленост на морската вода около 25% или малко по-висока, както и незначителната вълнова дейност са допринесли за масовото развитие на *Nubicularia novorossica* (фиг. 11d). Процесите, свързани с издигането на Карпатите около 11,6 – 11,3 Ма (Palcu et al. 2019), най-вероятно са предизвикали промяна на климата, който е ставал все по-сух.

Това е довело до повишаване солеността на морската вода в резултат – до интензивна евапорация. Повишавала се е и силата на вълновата дейност. Тези фактори са били неблагоприятни за развитието на *Nubicularia novorossica*. Тяхното количество е намалявало за сметка на увеличаването на инкрустиращи нубекуларии (*Sinzowella caespitosa*) (фиг. 11e, f), червени водорасли (фиг. 11g) и бриозои (фиг. 11h). Те се стремели да запазят новообразуваните седименти от разрушителната сила на вълните, като изграждали здрава рамка чрез инкрустации. Климатът ставал все по-суров и това е довело до появата и развитието на микробиални микритни маси. Образованите рифови варовици представляват баундстоуни (байндстоуни). С издигането и осушаването на територията на Североизточна България се е прекратило съществуването на рифовата постройка.

Фундаменталните знания от анализа на условията, факторите и разпространението на склоновите процеси по перифериите на плато-видни заравнености и геоложкия строеж на платата в СИ България бяха публикувани в 6 статии от кватрилите Q2, Q3 и Q4.



**Фигура 11.** Основни теренни и микроскопски характеристики на бесарабската рифова постройка в трите разреза: а) стратифицирани варовици, изградени от *Nubecularia novorossica* при село Тюленово (с дебелина около 20 м), покрити от рифови варовици с височина 2,5 м, в горната част с куполовидна форма; б) стратифицирани варовици, изградени от *Nubecularia novorossica*, разкриващи се в местността Мартинов камък (с дебелина около 15 м), покрити от рифови варовици с височина 4,5 м; в) куполовидни тела с дебелина 2,5 м, покрити от охрени на цвят биокластични варовици (височината на раницата е 60 см и е маркирана с малък оранжев правоъгълник), нос Шабла, при паметника на съветските пилоти (трите снимки са направени от Н.



Добрев); микрофотоснимки (d – h): d) черупки на *Nubecularia novorossica* (N), циментирани с изопахитни и друзови мозайки, на места калцитните цименти са заместени от ръждиви Fe-оксихидроксидни маси, кръстосана поляризирана светлина, разрез Тюленово; e) инкрустиращи нубекуларии *Sinzowella caespitosa* (EN) и друзов цимент с включен в него гастропод (G), кръстосана поляризирана светлина, разрез Тюленово; f) инкрустираща нубекулария *Sinzowella caespitosa* (EN), кръстосана поляризирана светлина, разрез Мартинов камък; g) фрагмент от бриозоя (B) и части от две черупки на *Nubecularia novorossica* (N), кръстосана поляризирана светлина, разрез нос Шабла; h) червени водорасли (A) и микритни маси (MM), кръстосана поляризирана светлина, разрез Мартинов камък

### Получени приложни резултати

Направен е анализ на литературните и архивните източници, като е събрана ценна информация относно разпространението на следните опасни геоложки процеси на територията на страната – свлачища, срутища и кално-каменни порои, с което се създава основата на база данни за разпространението на тези процеси на територията на страната.

След анализиране на условията и дестабилизиращите фактори са отделени участъци с концентрация на опасни геоложки процеси, където бяха насочени усилията за по-нататъшните научноизследователски дейности по задачата, в т.ч. и мониторинг. Извършена бе работа по съставяне на картата на разпространението на кално-каменните порои, а така също по карти на разпространението на срутищата и свлачищата.

Проведени са редица теренни изследвания за изследване разпространението на свлачища, срутища и кално-каменни порои. Взети са проби от седименти от участъци с проява на кално-каменни порои и са извършени лабораторни анализи. Определени са видът на изследваните порои, динамиката на процесите и условията на транспорт на седиментите, което е от значение при планирането на мерки за намаляване на риска от проява на кално-каменни порои.

Мониторинговите наблюдения на валежите в района (инсталирани са метеостанции в с. Крупник и с. Брежани, предстои инсталиране на трета станция в самото дефиле) установиха количествата валежи, предизвикващи проявите на две събития в северната част на Кресненското

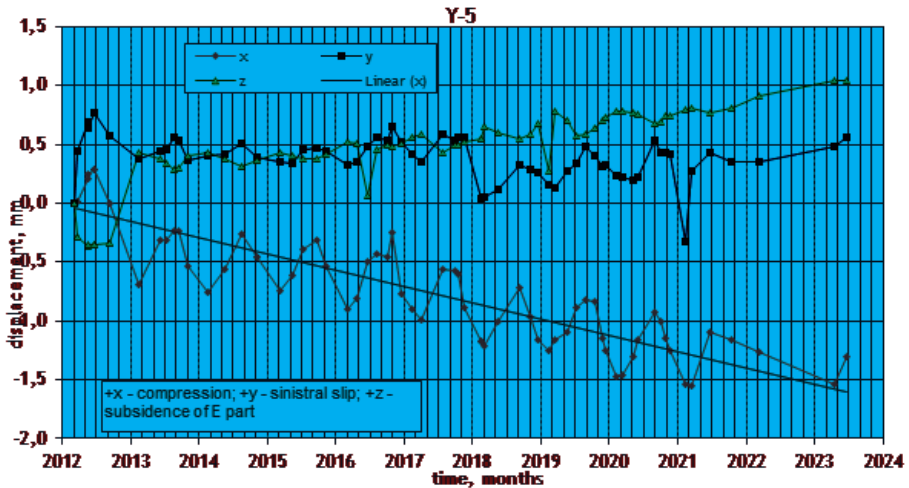
дефили и прекъсване на международния път Е79.

Значителна работа бе фокусирана върху опасните геоложки процеси, разпространени по перифериите на платовидни заравнености в Североизточна България. Извършени са геоложки, инженерногеоложки, тектонски изследвания, като дейностите бяха концентрирани основно върху Добруджанското, Мадарското и Провадийското плато.

Установени са конкретни стойности на движенията на дълбоки скални свлачища и активни разломи в перифериите на платата в Североизточна България. Така например отделените от платото скални блокове при мониторингова точка У5 – Яйлата (фиг. 12. и фиг. 13) се придвижват към морето със скорост 0,14 мм/год. (коэф. на корелация 0,78). Мониторинг на движения се провежда също така в Източните Родопи, района на Симитли, Мадарското плато и др.



Фигура 12. Мониторинговата точка У5 при м. Яйлата



Фигура 13. Графика на регистрираните движения в мониторингова точка Y5 при м. Яйлата

Получени са интересни приложни резултати относно литоложките особености на геоложки разновидности, инженерногеоложки показатели и разпространението на опасни процеси в тези райони.

Направено е микроскопско изследване на варовици от участъка между нос Калиакра и нос Шабла (местност Мартинов камък). В основата на разреза се разкриват фораминиферни варовици, изградени от *Nubecularia novorossica*. Те се покриват от варовици, които имат микробиален произход.

Данните от микроскопските определения на варовиците бяха комбинирани с данните от по-горе посочените изследвания на физико-механичните им показатели (обемна плътност, специфична плътност, якост на натиск, якост на опън, скорост на сеизмични вълни и др.).

Направени са микрофотоснимки на дюншлифи от изследваните варовици в местността Мартинов камък.

С рентгенодифракционен анализ беше доказано, че пелоидните варовици от нос Калиакра, са изградени от минерала доломит, който е 98,5%.

Извършен бе преглед на материалите, свързани с изследванията и разпространението на активните разломи на територията на страната.

С цел точно датиране на палеосейсмични събития по Мещицкия разлом (свързан с Пернишкото земетресение от 22.05.2012 г.), бяха изпратени за радиовъглеродно датиране 3 бр. образци в Университета на Сан Диего, САЩ.

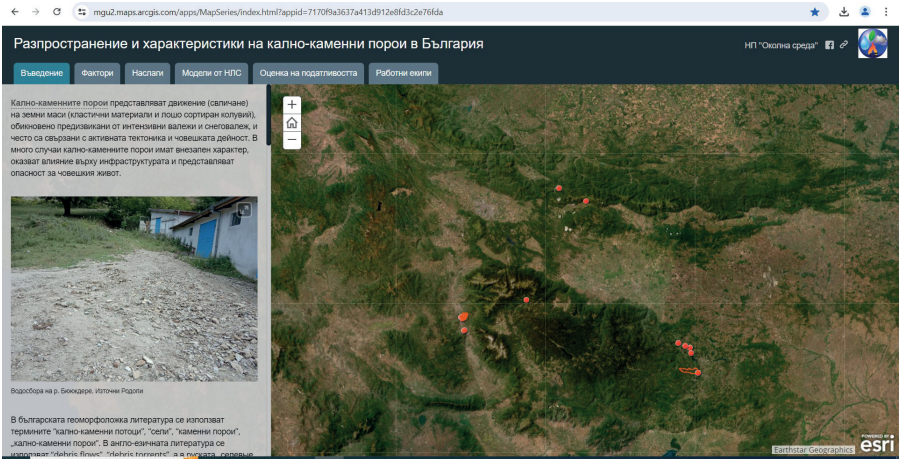
В резултат на задълбочено изследване бе установено, че разнородността на режимите на триене в зоната на разлома и на равнината на разлома контролират променлива сейзмика, свързвана през последните ~3300 години. Сейсмичният момент може да е малък за индивидуално събитие, както при земетресенията от 1965 г. и 2012 г., но може да нарасне до точка, в която сейсмичните разкъсвания се приближават до земната повърхност при по-големи земетресения.

С откритието, че нормалният разлом Мещица е активен разлом, ще се подобри допълнително изготвянето на оценки на сейсмичния hazard за гъсто населената Софийска област, особено предвид на факта, че поведението на разлома се влияе от хетерогенност на режимите на триене.

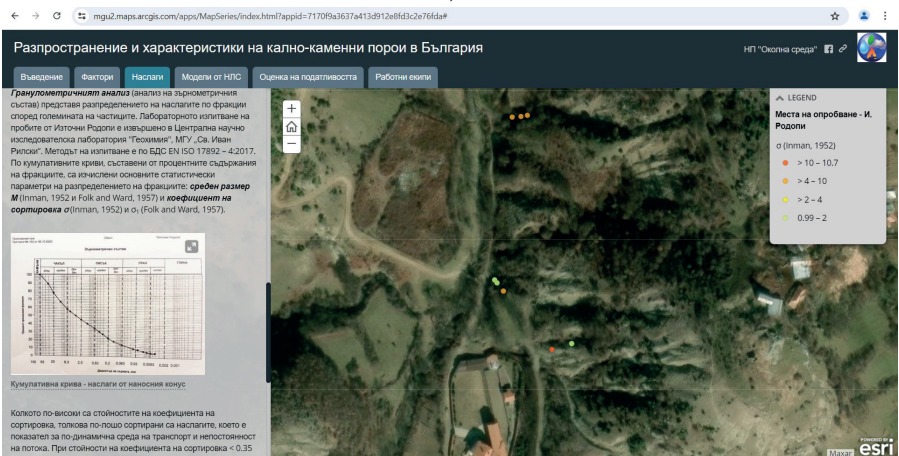
Практическият резултат е много важен, защото по същия начин могат да се предвидят променливи режими на приплъзване при други разломи, които пресичат или контактуват с олигоценски и миоценски глинести зони, широко разпространени в района.

Извършено е полево изследване на разпространение на срутищни явления и кално-каменни порои в района на Югозападна България и Родопите. Направен е анализ на геоморфоложките условия и синоптичните ситуации за възникване на кално-каменни порои. Определени са индикатори, по които бяха анализирани и оценени геоморфоложките условия. За участъци от Източните Родопи и долината на р. Струма по модели на релефа са изчислени: площ на водосборите, наклони, хоризонтално и вертикално разчленение на релефа, индекс на Мелтън, кривина на повърхнината на склона, топографски индекс на овлажнението, индекс на силата на водните потоци.

Изградена е ГИС база данни за условията и факторите за възникването на кално-каменни порои в ключовите участъци на изследване. На тази основа, в ArcGIS среда е разработено уебприложение (StoryMap), публикувано на Геоинформационния портал на МГУ „Св. Иван Рилски“ (<https://arcg.is/1Ozur80>) (фиг. 14). При наличие на нови данни информацията ще бъде обновявана и допълвана и след приключване срока на Програмата, което е индикатор за устойчивост на резултатите.



а)



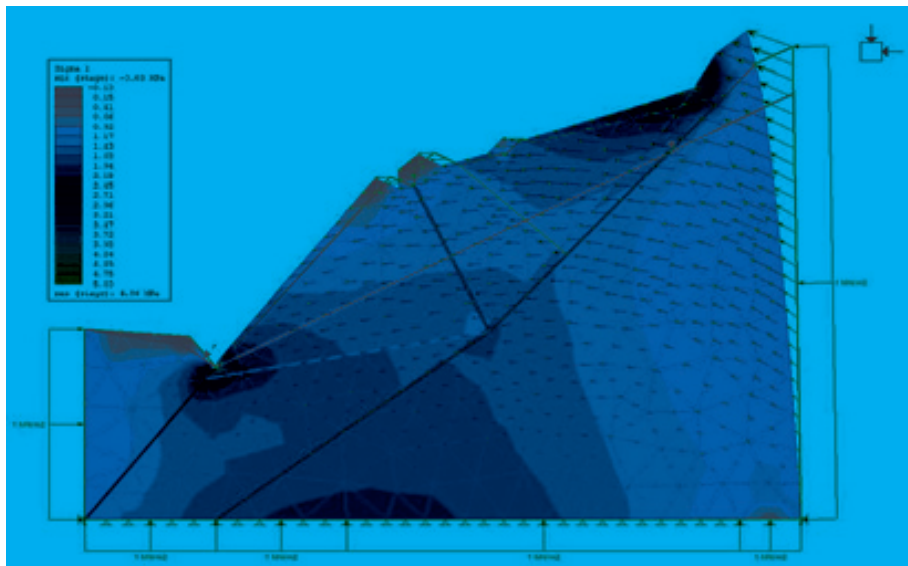
б)

**Фигура 14.** Уеб-ГИС разработка – разпространение и характеристики на кално-каменни порои в България: а) изследвани локации с прояви на кално-каменни порои; б) точки на опробване и анализ на наслагите

Създаден е архив със синоптични ситуации, които са предизвикали прииждането по долината на Струма и проява на кално-каменни порои. Характеризиран е комплексът от синоптични ситуации и климатични условия, водещи до проявата на кално-каменни порои. Установиха се

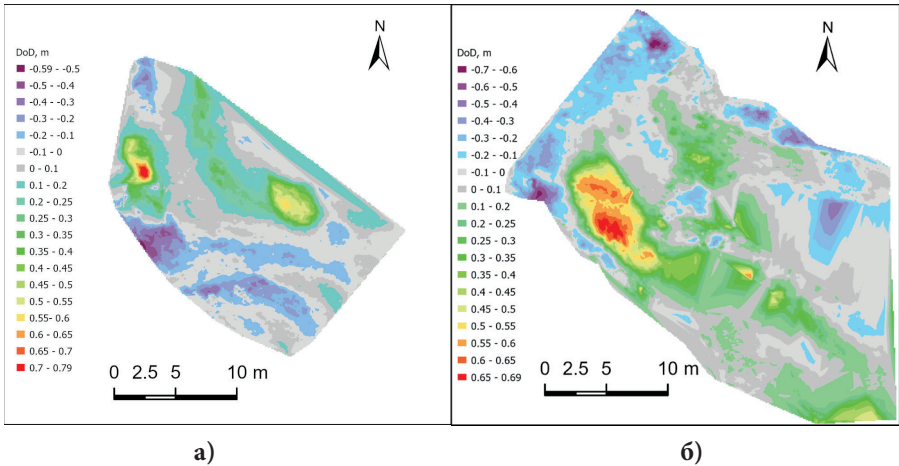


зависимости между валежите и проявленията на калнокаменни порои в Кресненското дефиле в резултат от работата на инсталираните метеостанции по проекта. Изчислиха се стабилитетни анализи на склоно-ви участъци в дефилето (фиг. 15).



**Фигура 15.** Анализ на склонов стабилитет на тектонско нарушение от срутищно-свлачищен тип край с. Крупник, Благоевградска област

По съставените модели а терена, на базата на НЛС и модели с отворен достъп – ALOS – PALSAR DEM (ASF DAAC, 2015) за участъци от водосборите на реките Голяма бара, Дамдере и Боровица (Източни Родопи) са генерирани слоеве в ГИС среда за морфометричните показатели на участъците, които могат да се използват като индикатори за проява на кално-каменни порои. Чрез пространствен Overlay анализ е извършена оценка на податливостта към проява на кално-каменни порои за изследвани ключови участъци. Характеризирани са поройните участъци и е направена количествена оценка на промяната в топографската повърхнина (фиг. 16). Резултатите са представени в научни публикации (Nikolova et al. 2020; Kamburov, Nikolova 2020; Nikolova et al. 2021; Rizova, Nikolova 2021, Nikolova et al. 2022; Nikolova, Kamburov 2022; Rizova, Nikolova 2023).



**Фигура 16.** Промяна на топографската повърхнина на пороен участък във водосбора на р. Дамдере, долно поречие (октомври 2019 – август 2021 г.): а) преди баража; б) след баража (източник: Nikolova, Kamburov 2022)

Актуализирана е базата данни за връзката метеорологично време – опасни геоложки явления – по собствен мониторинг и по литератури източници. Анализирани са синоптични обстановки от периода 2000 – 2020 г., довели до прииждания на реки и кално-каменни порои в Юго-западна България. Беше установено, че валежи със стойности, близки до 30 мм на ден, са достатъчни, за да инициират кално-каменни порои. Изследвано е влиянието на валежите върху проявата на почвена ерозия в Западна България и Източните Родопи.

Започна създаването на база от метеорологични данни от собствени измервания чрез инсталираните автоматични метеорологични станции (АМС), чието допълване ще продължи и след приключване на Програмата.

Направен е морфометричен анализ на водосбори в северния склон на Беласица, в района на Петрич.

Направени са някои допълнения към терените с проявени случаи на втечняване на слаби водонаситени почви на територията на България при силни земетресения.

Документираните исторически втечнявания са основно в Крайду-



навските низини (Видинската, Козлодуйската, Чернополската, Свищов-Беленската, Бръшлянската); по долното течение на р. Янтра и около Горна Оряховица; в терасата на р. Голяма (Стражица); в терасите на р. Искър (Софийско); по долината на р. Струма и на р. Марица (между Чирпан и Пловдив); в пясъчните коси в районите на Бургас и Варна; в крайморските лимани.

Продължават инвентаризацията и описанието на активните разломи на територията на страната. Използват се теренни данни, налични архивни данни и такива от дистанционни изследвания.

Акцент се поставя на големите урбанизирани територии, предвид риска от възникване на деформации и земетресения в тях, които могат да засегнат важна инфраструктура.

За района на Банско е доказана връзката между образуването на кално-каменни потоци и активни разломи.

Подробен анализ е направен за северния склон на Рила между Дупница и с. Сестримо.

За северните склонове на Рила се документира доминиране на екстензионни процеси, като на базата на термохронологични данни. Установено е, че тези процеси са започнали през еоцена.

Продължава работата по разработване на методика за определяне активността на морски и сухоземни разломи в района на северния български черноморски бряг и на риска от генериране на провадания, свлачища и земетресения.

Направени са археосейсмологични изследвания на руините на епископалната базилика на ул. „Хан Крум“ във Варна.

Съществен нов момент е, че се търсят не само преки ефекти от сеизмичните въздействия, отразени в един обект, но и систематически масови деформации, които позволяват пеленгация на действащите сили и извършване на количествени оценки на размера на тези сили.

Продължават обсъжданията на възможностите за интерпретация на особеностите на сеизмичните разрушения в качеството им на кинематични индикатори в съвременните строителни конструкции и в археоложките обекти.

Обсъждат се възможностите за определяне на епицентрите на зе-

метресения чрез изследване ориентацията на разрушенията, както и методите за датировка и параметризация на събитията.

Детайлни теренни изследвания са извършени в северната част на Местенския грабен и южните склонове на Рила. Акцент на работата е характеризирани на Бачевския и Семковския разлом, както и номинираните в публикации и абстракти вероятно активни тектонски зони.

Анализирани са резултатите от проведените картирания на североизточния завършек на Семковския разлом към яз. „Белмекен“; на района на с. Бачево с цел характеризирани на предполагаемо активния Бачевски разлом и неговата връзка със Семковския разлом.

Обработени са резултатите от картиране на активни разломни сегменти в района на Боровец и на Говедарския разсед.

Анализиран е ходът на активните разседни сегменти в северното подножие на Рила и връзката им с младите разломявания в Палакарийския гробен .

Детайлни теренни изследвания и анализ на тектонската геоморфология са извършени в района на изток от Симитли.

Обработени са данните от облитанията с безпилотен самолет, генерирани са изображения и цифров модел на релефа със сантиметрова точност за района на Банско.

Направени са археосейсмологични изследвания на четири обекта, намиращи се на територията на древния Одесос. Това са Римските терми (големите и малките), руините на площад „Екзарх Йосиф“ в центъра на Варна и южната врата на древния Одесос (фиг. 17.). Получени са нови данни за неизвестни досега древни земетресения, както и потвърдителни данни за вече известни земетресения.



**Фигура 17.** Земетръсни ефекти, установени при изследванията на югозападната врата на древния Одесос

Във връзка с проява на кално-каменни порои в басейна на р. Хърсовска са анализирани причинно-следствените връзки в системата природна среда – антропогенна дейност.

### **Международно сътрудничество**

При разработването на задачите по Националната научна програма беше установено сътрудничество със сръбски, словашки, албански, косовски, чешки, руски, швейцарски, норвежки и американски учени. От сръбска страна бяха ангажирани Milorad Dušan и докторантката Jelena Svetozarević. От албанска страна участие взе докторантката Antić, от Косово д-р Imerlije Alili. Те бяха впоследствие съавтори в някои от публикациите по Програмата. От чешка страна участие взе Иржи Жак (Jiří Žák), професор от Института по геология и палеонтология, Факултет по природни науки, Карловия университет, Прага, и Мартин Свойтка (Martin Svojtka) – ръководител на отдел в Чешката академия на науките, Институт по геология. От руска страна участваха учените Андрей Корженков и Александър Овсюченко от Института по физика на Земята, Руската академия на науките.

Участие взе и Ричард Спайкингс (Richard Spikings) от Женевския университет, Швейцария. От норвежка страна взе участие д-р Бьорн Олав

Кваме – ръководител на научна група в Института за морски изследвания в Норвегия.

От американска страна водещ учен бе д-р професор Томас Рокуел от Катедрата по науки за Земята и околната среда на Държавния университет в Сан Диего, САЩ.

За анализ на едромасщабните циркулационни процеси, довели до формиране на интензивни валежи, причиняващи кално-каменни порои, екипът по РП1.9.2. е работил с изследовател от Университета „Комениус“, Словакия (Факултет по математика, физика и информатика), който е и съавтор на една публикация.

Установено бе сътрудничество с Университета на Сан Диего, САЩ. Бяха ангажирани някои учени от тяхната лаборатория за радиовъглеродно определяне на геоложката възраст. С цел точно датиране на палеосейсмични събития по Мещицкия разлом (свързан с Пернишкото земетресение от 22.05.2012 г.), бяха изпратени за радиовъглеродно датиране 3 бр. образци в този същия Университет на Сан Диего, САЩ.

В резултат на задълбочено изследване бе установено, че разнородността на режимите на триене в зоната на разлома и на равнината на разлома контролират променлива сейзмика, свързвана през последните ~3300 години.

Откритието, че нормалният разлом Мещица е активен разлом, допълва изготвянето на оценки на сейсмичния hazard за гъсто населената Софийска област. Това като факт е особено важно, предвид това, поведението на разлома се влияе от хетерогенността на режимите на триене.

Практическият резултат е много важен, защото по същия начин могат да се предвидят променливи режими на приплъзване при други разломи, които пресичат или контактуват с олигоценски и миоценски глинести зони, широко разпространени в района.

### **Разпространение и популяризация на резултатите**

Разпространението и популяризацията на резултатите се осъществяваше в международни специализирани списания, като се целеше да бъдат в първите квартали.

Общият брой статии по работния пакет – Р.П. 1.9 е 59.

Участията в проведени научни форуми е 23 с изнесени доклади.

От Геологическия институт на БАН са написани 25 статии.

От Софийския университет статиите са 17.

От Минно-геоложкия университет статиите са 10.

От Института по океанология при БАН статиите са 7.

### Най-важни статии

- Dobrev, N., Ivanov, P., Berov, B., Frantzova, A., Krastanov, M., 2023. Scenario risk assessment of landslides – Asenovgrad mountain road. *Geologica Balcanica*, vol. 52, no. 2, pp. 75 – 82. <https://doi.org/10.52321/GeolBalc.52.2.75>, Q3 (Scopus).
- Gerdjikov, I., S. Dimitrov, Z. Dotseva, M. Iliev, D. Vangelov, 2022. Mapping and classification of heavy rainfall-induced hazards in the Petrich town area (SW Bulgaria). – *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol. 83, no. 3, pp. 229 – 231. <https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2022.83.3.229> Web of Science Quartile: Q4.
- Zák, J., Svojtka, M., Gerdjikov, I., Vangelov, D., Kounov, A., Sláma, J., Kachlík, V., 2023. In search of the Rheic suture: detrital zircon geochronology of Neoproterozoic to Lower Paleozoic metasedimentary units in the Balkan fold-and-thrust belt in Bulgaria. – *Gondwana research*, vol. 121, pp. 196 – 214, ISSN (print): 1878-0571, ISSN (online): 1342-937X, Ref, Web of Science, Web of Science Quartile: Q1 (2023), International, <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2023.04.010>.
- Koleva-Rekalova, E., N. Dobrev, 2019. Sarmatian carbonate tempestites from Kaliakra Cape (NE Bulgaria): evidence for the existence of microbialites. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 72, no. 11, pp. 1507 – 1514. Print ISSN: 1310-1331, Online ISSN: 2367-5535, <https://doi.org/10.7546/CRABS.2019.11.08>, IF 0.205, SJR 0.349, Q2, Scopus.
- Kounov, A., Gerdjikov, I., Antić, M., Georgiev, N., Spikings, R., 2023. Late Alpine multistage exhumation of the northwestern Rhodope Metamorphic Complex (northern Rila Mountains, Bulgaria). – *International Journal of Earth Sciences*, <https://doi.org/10.1007/s00531-023-02321-6>, Ref, Web of Science, Quartile: Q1 (2023).

- Krenchev, D., R. Kenderova, S. Matev, N. Nikolova, G. Rachev, M. Gera, 2021. Debris Flows in Kresna Gorge (Bulgaria) – Geomorphological Characteristics and Weather Conditions. *J. Geogr. Inst. Cvijic*, vol. 71, no. 1, pp. 15 – 27. <https://doi.org/10.2298/IJGI2101015K> Scopus Q3.
- Nikolova, N., Matev, S., Alili, I., 2022. Assessment of rainfall erosivity in Southwest Bulgaria using the Fournier index. *Review of the Bulgarian Geological Society*, vol. 83, part 3, pp. 221 – 224, <https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2022.83.3.221>, Web of Science Q4.
- Nikolova, V., Kamburov, A., Rizova, R., 2021. Morphometric analysis of debris flows basins in the Eastern Rhodopes (Bulgaria) using geospatial technologies. *Natural Hazards*, vol. 105, pp. 159 – 175, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04301-4>, Springer, Electronic ISSN: 1573-0840, Scopus, WoS; Q1.
- Nikolova, V., Zlateva, P., Berov, B., Kamburov, A., Velev, D., 2020. Conceptual Model of Debris Flow Information System. In: Murayama Y., Velev D., Zlateva P. (eds) *Information Technology in Disaster Risk Reduction. ITDRR 2019. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 575, pp. 146 – 158. Springer, Cham, Print ISBN 978-3-030-48938-0, Online ISBN 978-3-030-48939-7, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48939-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48939-7_13), Scopus, Q3.
- Nikolova, V., Kamburov, A., 2022. Geoinformation technologies in the evaluation of short-term geomorphic change: An example of Damdere debris flood area (Bulgaria). *J. Geogr. Inst. Cvijic.*, vol. 72, no. 2, pp. 133 – 145, <https://doi.org/10.2298/IJGI2202133N>, Scopus Q3.
- Nikolova, V., Nikolova, N., Stefanova, M., Matev, S., 2024. Annual and Seasonal Characteristics of Rainfall Erosivity in the Eastern Rhodopes (Bulgaria). *Atmosphere*, no.15, p. 338. <https://doi.org/10.3390/atmos15030338> (Scopus, WoS) Q2.
- Radulov, A., T. K. Rockwell, M. Yaneva, Y. Donkova, H. Kiselinov N. Nikolov, 2024. Variable slip mode in the past 3300 years on the fault ruptured in the 2012 M 5.6 Pernik slow earthquake in Bulgaria. *Natural Hazards*, vol. 120, pp. 5309 – 5331. under exclusive licence to Springer Nature B.V. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06426-2>.
- Sarafov, A., Matev, S., Krenchev, D., Rachev, G., 2022. Debris flow in the Kirilova poliana (Rila mountain) on August 22, *Review of the Bulgarian*

Geological Society, vol. 83, part 3, pp. 225 – 228, <https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2022.83.3.225> (WoS Q4).

Колева-Рекалова, Е., Н. Добрев, Р. Нанкин, 2022. Седиментоложки и инженерногеоложки особености на сарматските варовици по Черноморското крайбрежие между нос Калиакра и нос Шабла. Review of the Bulgarian Geological Society, vol. 83, part 2, pp. 17 – 28. <https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2022.83.2.17> WoS Q4)=

### **Заклучение**

В заключение може да се обърне внимание на огромния и разностранен труд, който колективът при работен пакет Р.П. 1-9 е положил. Проведени са над 65 командировки, които бяха съпроводени с теренни изследвания и вземания на проби за допълнителни лабораторни изследвания. Като брой човекодни теренните проучвания надхвърлиха 350 броя. Изследваните обекти се разпростираха на значителни разстояния, например Северното черноморско крайбрежие, Източните Родопи, Кресненското дефиле, Искърското дефиле, високия Дунавски бряг и други, описани в докладите през отделните години на проекта. Перманентно се следяха предварително определени точки за движения в трите пространствени координати при разломни и свлачищни пукнатини.

Такива точки бяха Калиакра, Яйлата, Болата, Мадара, Кресненското дефиле, Генерал Гешево – Източните Родопи. Прецизен теренен мониторинг се провежда и в момента на територията на избрани свлачищни полигони. Единият полигон е изграден за най-голямото по площ и обем свлачище в България, а именно свлачището Езерище при с. Желен до Своге, в Искърския пролом. Другият полигон е за свлачищни наблюдения при село Енчец, край Кърджали, Източните Родопи.

За изследванията, свързани с протичането на разрушителни кално-каменни порои, дебритни потоци и наводнения с преместване на големи количества земни маси, бяха изследвани редица реки и техните притоци в Родопите, Рила, Пирин и Стара планина.

Чрез лабораторни анализи се изследваха инженерногеоложките свойства на редица разрези от гореспоменатите територии на изследвания. Физико-механичните показатели се определиха за скални и земни образци, от различни точки и терени, които не бяха изследвани досе-



га. За кално-каменните порои се определиха многобройни гранулометрични лабораторни анализи.

Създадена е база данни за разпространението на свлачищните и срутищните процеси на територията на цялата страна. Чрез теренни наблюдения, измервания и лазерно сканиране са събрани и значителен обем данни за условията и факторите за възникването на кално-каменни порои в определените ключовите участъци на изследвания. Данните са структурирани във файлова ГИС база данни, което позволява извършване на пространствени анализи и определяне на функционални зависимости.

На тази основа в ArcGIS среда (ESRI Inc.) е разработено уебприложение (StoryMap), публикувано на Геоинформационния портал на МГУ „Св. Иван Рилски“ (<https://arcg.is/1Ozur80>). При наличие на нови данни информацията ще бъде обновявана и след приключване срока на Програмата, което е индикатор за устойчивост на резултатите.

Създаден е архив със синоптични ситуации, които са предизвикали прииждането по долината на Струма и проява на кално-каменни порои. На базата на информацията от този архив и данните от метеорологичните измервания е изяснена връзката метеорологично време – климат – кално-каменни порои.

За извършването на оценката на опасните геолого-геоморфоложки процеси бяха необходими мощни компютърни ресурси, специализиран софтуер и значително компютърно време за въвеждане и обработка на големи обеми пространствени данни, а така също и за пространствени анализи и моделиране.

В резултат от дейностите по РП.1.9 се получи нова информация за характера на неблагоприятните/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления, което е от изключително значение за бъдещо планиране на мерки за намаляване на неблагоприятните въздействия и управление на риска. Извършените изследвания имат и важно методологично значение чрез прецизиране на методологията и прилагане на иновативни геопространствени технологии, което повишава ефективността на дейностите и точността на получените резултати.

## ОЦЕНКА НА ОПАСНОСТИТЕ ОТ КАТАСТРОФАЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯТА ОТ ТЯХ

Чл.-кор. проф. д.н. Димчо Солаков

Доц. д-р Димитър Стефанов

Доц. д-р Стела Симеонова

Доц. д-р Пламена Райкова-Цанкова

*Национален институт по геофизика, геодезия и география –  
Българска академия на науките*

### Основни цели и задачи

През последните десетилетия земетресенията се превръщат в най-рисковото природно бедствие. Според Световната здравна организация в периода 1998 – 2017 г. земетресенията са причинили близо 750 000 смъртни случая в световен мащаб, повече от половината от всички смъртни случаи, свързани с природни бедствия. Повече от 125 милиона души са били засегнати от земетресения в този период: ранени, останали без дом, разселени или евакуирани по време на фазата непосредствено след бедствието.

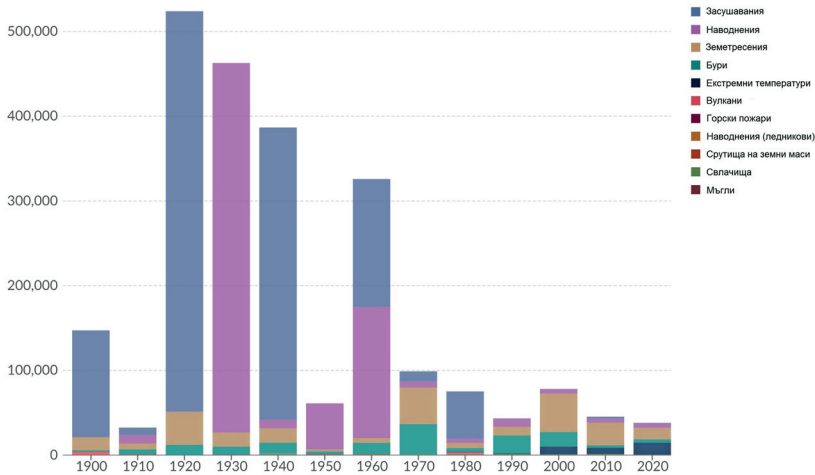
На фиг. 1.1 са представени жертвите по природни бедствия по декади (по данни от <https://ourworldindata.org/natural-disasters>). От фигурата се вижда, че докато до 1965 г. най-много жертви са предизвикани от сушията и ураганите, след това земетресенията имат превес независимо от климатичните промени.

По отношение на икономическите загуби (дял от световния вътрешен продукт) заемат 3 място след 1955 г. след ураганите и наводненията (фиг. 1.2).

През изминалите векове територията на България е била подложена на силни сеизмични въздействия. В исторически аспект внимание заслужават събитията от 1818 г. (I<sub>0</sub>=VIII-IX МШК) и 1858 г. (M<sub>S</sub>≈6.3, I<sub>0</sub>=IX МШК), реализирани в близост до София. В началото на XX век, от 1901 до 1928 г., на територията на България има 5 силни земетресения с магнитуди около и над 7.0. Това са едни от най-значителните земетресе-

ния, настъпили в Европа през XX век.

През изминалите векове територията на България е била подложена на силни сеизмични въздействия. В исторически аспект внимание заслужават събитията от 1818 г. (I0=VIII-IX МШК) и 1858 г. (MS≈6.3, I0=IX МШК), реализирани в близост до София. В началото на XX век, от 1901 до 1928 г., на територията на България има 5 силни земетресения с магнитуди около и над 7.0. Това са едни от най-значителните земетресения, настъпили в Европа през XX век.



Фигура I.1. Жертви по декади, причинени от природни бедствия

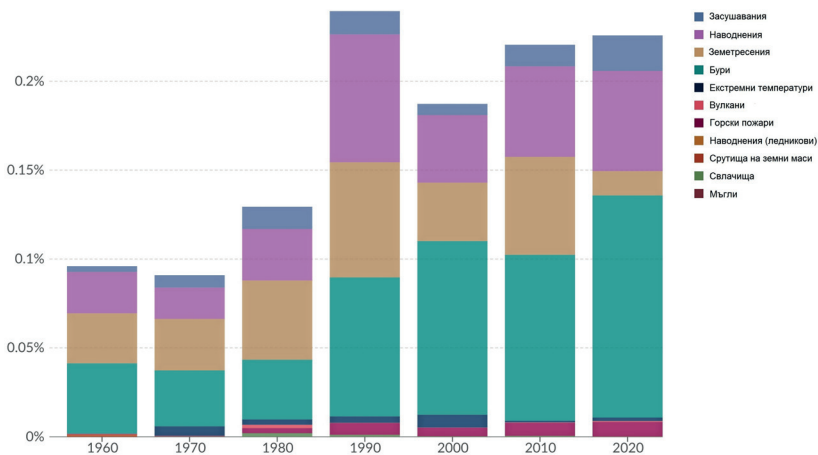
Територията на България безусловно трябва да бъде причислена към земетръсно опасните зони на Земята. Освен това сеизмичността на териториите на съседните страни, Гърция, Турция, бивша Югославия и Румъния (особено силно е сеизмичното въздействие на междиннофокусните земетресения в област Вранча, Румъния), оказва съществено влияние върху сеизмичната опасност за територията на България.

Според <https://bulgarianhistory.org/> жертвите в България след 1900 г. са общо над 560, сравнително малко за силните земетресения в началото на XX век.

Основна стратегия за намаляване на сеизмичния риск е превенцията. Разработката на сценарии за последствията от силни земетресения е основен елемент от превенцията.

Основната цел на работния пакет РП.І.10. „Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях“ е разработване на сеизмични сценарии за София, Пловдив, Велико Търново, Благоевград, Русе и Варна и на тази база разработване на рискови сценарии за тези градове. Това ще е основа и при осъществяването на почти всички останали мерки за намаляване на сеизмичния риск.

Анализът на резултатите от РП.І.10 дава възможност да се определят потенциалните зони с възможност за случване на екстремни земетресения с катастрофален характер.



**Фигура І.2.** Икономически загуби по декади, причинени от природни бедствия като част от световния вътрешен продукт

Прилагайки вероятностен анализ е оценка вероятността за реализация на катастрофални сеизмични въздействия. За всяка потенциална зона са разработени сеизмични сценарии за възможните последствия при реализация на силно земетресение в нея. Въз основа на получените резултати са оценени икономическите и социалните последствия от катастрофални земетресения върху нормалното функциониране на обществото (население, сгради, инфраструктура и други).

Приложимостта на резултатите за вземане на управленски решения и ползата им за обществото са:

- възможност за разработване на обоснована програма за пре-

вантивни действия с оглед намаляване на сеизмичния риск;

– възможност за приоритетно планиране на спасителни екипи, техника, ресурси;

– резултатите от РП.І.10 ще се ползват от управленските структури на градовете за вземане на управленски решения с цел намаляване на сеизмичния риск и целесъобразно планиране на превантивни дейности.

### Изследователски методи

Основните фактори, които определят сеизмичния риск, са: ниво на сеизмичната опасност (сеизмичния hazard), брой на хората и обектите (сграден фонд – частна и публична собственост, паметници на културата, инфраструктура, управление, функции на града и т.н.), изложени на тази опасност (фактор изложеност), и степен, до която хората и собствеността в този район са уязвими от нея (фактор уязвимост).

*Риск в даден район = сеизмичен hazard  $X$  – изложеност,  $X$  – уязвимост (фиг. II.1).*



**Фигура II.1.** Илюстрация на дефиницията за сеизмичен риск: Hazard – сеизмична опасност (hazard); Exposure – изложеност; Vulnerability – уязвимост

### Сеизмични сценарии

За създаването на сеизмичните сценарии (оценка на нивото на сеизмичните въздействия) за отделните градове е приложена методика, съобразена с особеностите на градовете в Европа, разработена по Европейския проект Risk EU (EVK4-CT-2000-00014, 2001-2004), финансиран

от European Economic Commission по Пета рамкова програма (представена в работите на Faccioli et al. 2004; Faccioli 2006).

Най-обща представа за необходимата входна информация, използваните средства и крайните резултати се дава с блок схемата, представена на фигура II.2 (съгласно Faccioli et al. 2004; Faccioli 2006). Изходът от сеизмичния сценарий са очакваните макросеизмична интензивност, максимално ускорение (PGA), максимална скорост (PGV), спектрални ускорения и скорости ( $A(T), V(T)$ ) за различни спектрални периоди  $T$ .

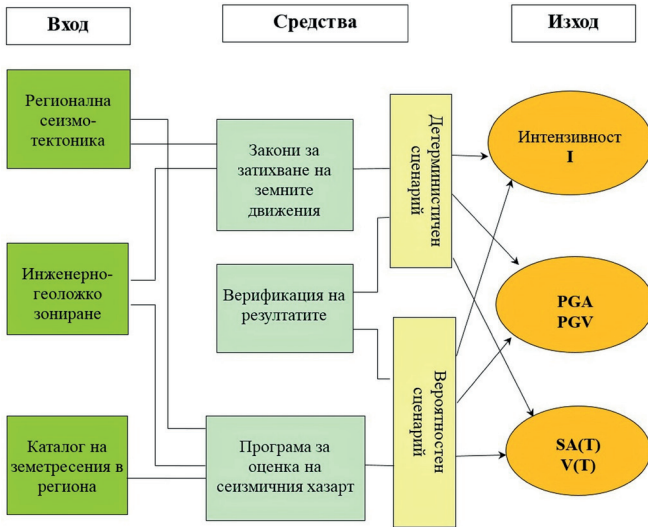
За генериране на земетръсни сценарии се прилагат два подхода: детерминистичен и вероятностен анализ на сеизмичността (съответно DSHA и PSHA).

Детерминистичният сценарий постулира появата на земетресение с определена сила и конкретно местоположение (обикновено активен разлом). Детерминистичната оценка е ниво на сеизмични земни движения, предизвикани от силни земетресения, реализирани в най-близките до селището точки от съответните сеизмични източници. Този подход не прогнозира вероятността за случване на даденото събитие през определен период. Вероятността за надвишаване на това ниво не може да се изчисли директно и се оценява след вероятностен анализ на сеизмичния хазарт.

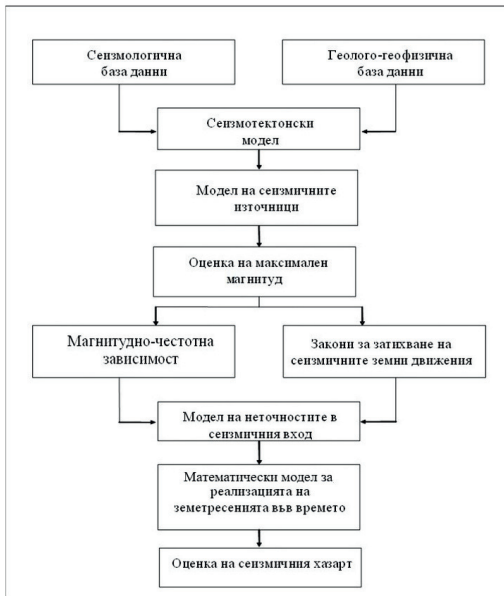
Вероятността земното движение да превиши определено ниво вследствие на земетресение за даден период, се оценява чрез вероятностен анализ на сеизмичния хазарт (PSHA).

Резултантният хазарт за дадена област се получава чрез интегриране на ефектите от земетресения с различна сила, реализирани в отделните сеизмични източници с различна повторяемост. Вероятностната оценка на сеизмичните въздействия се извлича директно от изследването на сеизмичния хазарт.

Най-обща представа за необходимата входна информация, приложението моделиране и използваните методики при вероятностна оценка на сеизмичния хазарт се дава с блок-схемата, представена на фигура II.3.



Фигура II.2. Блок-схема за създаване на земетръсен сценарий



Фигура II.3. Блок-схема за оценка на сеизмичния hazard



### *Оценка на сеизмичния риск*

Настоящото изследване се основава на „Методика за анализ, оценка и картографиране на сеизмичния риск на Република България“, разработена по договор между НИГГГ – БАН към МРРБ, одобрена от министъра на МРРБ, която има сила на нормативен документ (Simeonov i dr. 2018 ).

Най-общо методиката може да се представи в следните няколко стъпки.

**Стъпка 1** – разпределяне на всяка сграда към съответната типология в зависимост от съществуващата информация за вида на конструкцията, годината на построяване, етажността и др.

**Стъпка 2** – определяне уязвимостта на сградите. Въз основа на описаните в методиката алгоритми за всяка сграда се изчислява клас на уязвимост.

**Стъпка 3** – изчисляване на сеизмичния риск във вид на загуби. Изчислява се броят на сградите, които ще получат определено ниво на повреди – леки, средни, тежки, много тежки и разрушение.

**Стъпка 4** – изчислява се разгънатата застроена площ (РЗП) на сградите, които ще получат определено ниво на повреди.

**Стъпка 5** – изчисляват се човешките загуби, които биват: леко ранени, нуждаещи се от болнично лечение, тежко ранени, загинали.

**Стъпка 6** – изчисляват се икономическите загуби вследствие на директните физически повреди и разрушения.

За определяне на сеизмичния риск оценката на сградния фонд се прави в зависимост от реагирането на изследваните сгради при сеизмични въздействия. Целта на класифицирането на сградите е целият сграден фонд в даден град да бъде в групи, в които сградите са с близко или еднакво поведение по време на земетресение.

Класификацията на сградния фонд се извършва в зависимост от типа на конструктивната система, годината на проектиране/построяване, етажността и предназначението. За целта се използва разработената матрица на типологиите на конструктивните системи, дадена в отделно приложение на (Simeonov i dr. 2018 ). Оценката на уязвимостта на сградите се базира на информацията за носещата конструкция (типология),

време на построяване (проектиране), етажност и други технически параметри. На всяка сграда е присвоен съответен клас на уязвимост. Сградите са разделени в 6 класа на уязвимост. Класовете на уязвимостта са означени с буквите от А до F съгласно Grünthal, 1988.

Повредите се представят в дискретна форма чрез нива на повреди НП (k), (k=0, 1, 2, 3, 4, 5), които могат да се наблюдават при земетресение. В Методиката се използва Европейската макросейсмична скала EMS-98 (Grünthal 1988), която доста подробно дефинира пет нива на повреди, представени в таблица II.1. Броят на жертвите и ранените се оценява на основата на повредите в сградите (Solakov i dr. 2019 ). Икономическите загуби се оценяват в зависимост от повредите в сградния фонд (Solakov i dr. 2019). Сградите са разделени на три основни групи, съобразени със спецификата на градоустройството и наличната информация за предназначението и обитаването на сградите – жилищни сгради, административни/обществени сгради и „специални сгради“. Групата „Специални сгради“ включва сгради с висока концентрация на хора и такива с особено значение в следземетръсен период. Към тази група спадат: болници, училища, университети, детски градини и др.

**Таблица II.1.** Дефиниране нивата на повреди в Европейската макросейсмична скала (EMS-98)

Ниво на повреди	Описание
НП 0	няма
НП 1	леки
НП 2	средни
НП 3	тежки
НП 4	много тежки
НП 5	разрушение

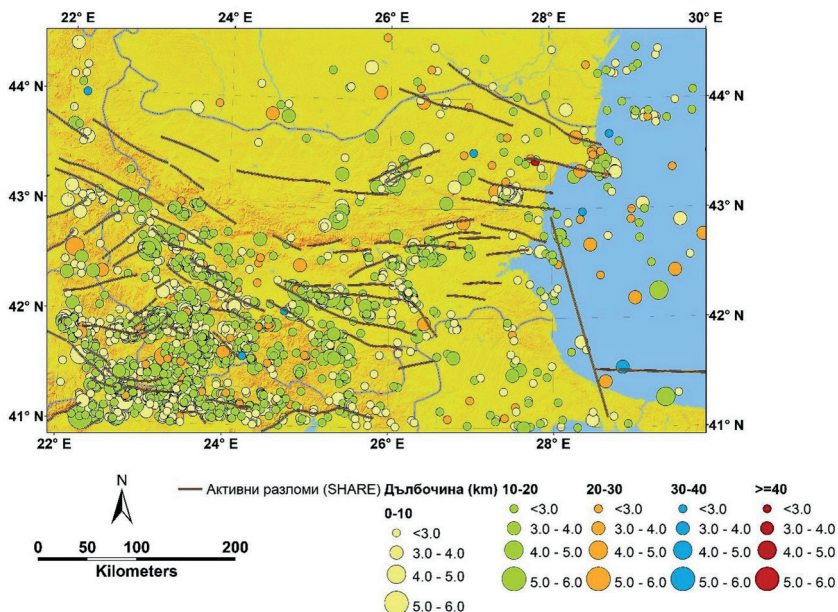
### Дейности по програмата

Всички дейности са свързани с елементите от блок-схеми II.2 и II.3 и стъпките за оценка на сеизмичния hazard и риск.

Създадени са нови или са обновени съществуващи бази данни, необходими за оценката на сеизмичните въздействия. Каталогът на земетресенията след 1980 г. с магнитуд по сеизмичен момент (MW), по-голям или равен на 3.2, непрекъснато се обновява и е достъпен на страница-

та на НИГГГ ([http://www.niggg.bas.bg/wp-content/uploads/2021/10/eq\\_catalogue\\_2023.pdf](http://www.niggg.bas.bg/wp-content/uploads/2021/10/eq_catalogue_2023.pdf)). Каталогът до 2020 г. е декластеризиран, изследван е за пълнота и е тестван за Поасонов процес. Резултатите са представени в Solakov et al. 2020. За енергетичната хомогенизация на каталога към магнитуд по сеизмичен момент е изведена зависимост между рутинно определяния у нас магнитуд по амплитудата на Р вълната,  $M_p$ , и  $M_w$ .

Създаден е каталог на земетресенията с магнитуд по Р вълна над 2.5 ( $M_w \geq 2.6$ ) за периода след 2008 г. Каталогът е хомогенизиран в енергетично отношение, като магнитудите са превърнати в  $M_w$ . Каталогът съдържа 1705 събития. Каталогът е обединен с каталога на земетресенията в България и околностите преди 1981 г. Обединеният каталог е използван за оценка на периодите на повторемост на силните земетресения в районите около разглежданите градове. Периодите на повторемост на силните земетресения са оценени и по геоложки данни като е използвана информацията от европейската база данни за активните разломи (Basil et al. 2013). Създадена е карта с плътността на земетресенията на територията на страната.



Фигура III.1. 4D карта на земетресенията периода 1981 – 2021 г. в България и околностите с  $M_w \geq 2.6$

Оценено и анализирано е отношението  $H/V$  (осреднено отношение на спектрите на хоризонталните и вертикалните компоненти) за станции от Българската сеизмична мрежа и на тази основа са оценени инженерно-геоложките условия под станциите.

Създадена е база данни с регистрирани ускорения от корови земетресения, реализирани на Балканския полуостров, Италия и западните територии на Турция, съдържаща над 10 000 наблюдения (фиг. III.2). Създадена е база данни с регистрирани ускорения от междиннофокусни земетресения, реализирани в района на Вранча, Румъния. Информацията е използвана за оценка на близостта на наблюденията и 6 закона за затихване на ускорението от корови и 3 закона за междиннофокусни земетресения. Оценени са теглата на тези закони, с които да участват в изчисленията.

Съставени са база данни и карти с болниците и училищата на територията на София и Благоевград.

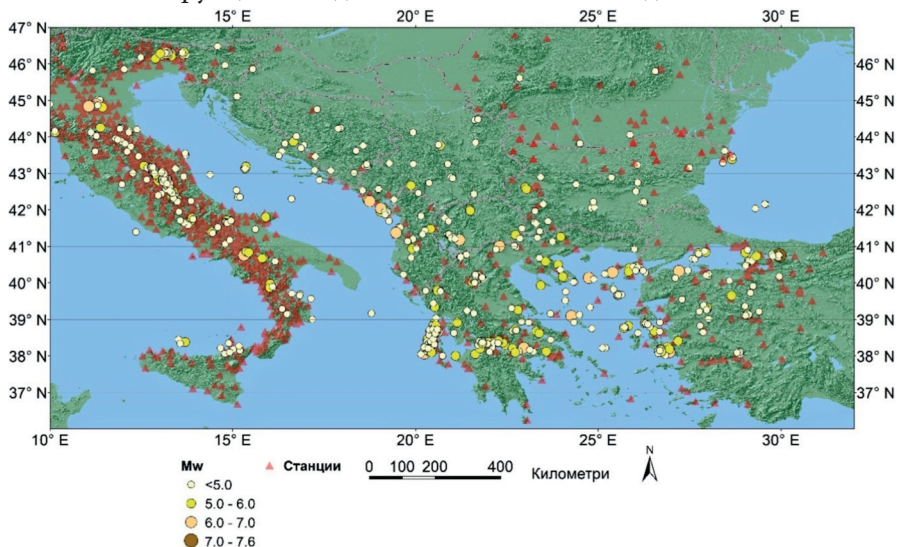
Създадени са карти (в GIS среда) на инженерно геоложките условия за София, Пловдив (фиг. III.3), Велико Търново, Благоевград, Русе и Варна. Данните са допълнени с информация за  $Vs30$  от USGS slope-based global map (Worden et al. 2015, Heath et al. 2020), налични на <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>, за да се покрие цялата застроена площ на изследваните градове. Информацията е използвана за създаването на сеизмични сценарии.

Създадени са бази данни за сградния фонд на София, Пловдив, Велико Търново, Благоевград, Русе и Варна (фиг. III.4). Информацията се базира основно на съществуващата информация в кадастъра, която е проверена и допълнена, когато са установени непълноти. Най-често това са данни за типа на конструктивната система и годината на построяване/проектиране. Събирането и обработването на данните е извършено на основа на географска информационна система (GIS).

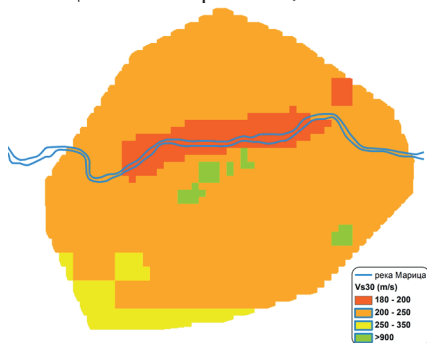
Базите съдържат огромен обем информация – общо над 369317 елемента с данни за съответната сграда (над 5 GB). За всяка сграда поотделно е оценена сеизмичната уязвимост в зависимост от типа строителство, година на построяване, етажност и др. Тази информация е използвана за създаването на рисковите сценарии за разглежданите градове.

На основата на сеизмологична, геоложка, тектонска, геофизична

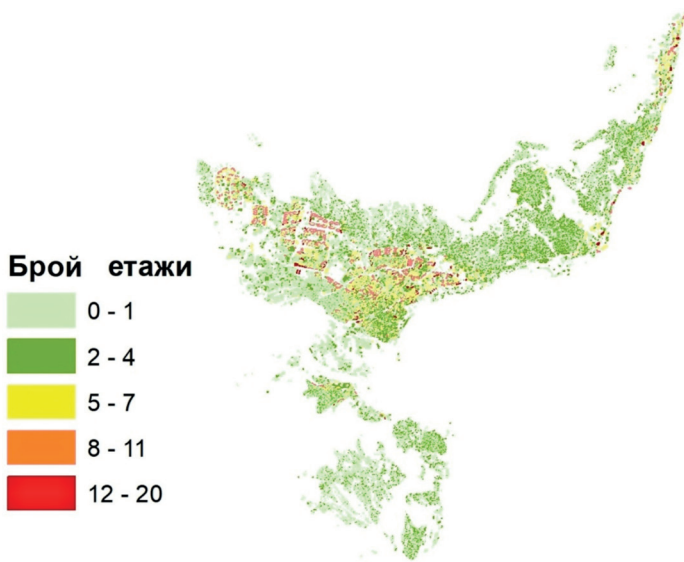
и геодезична информация са избрани местоположението и силата на референтните земетресения за сеизмичните сценарии. Оценено е сеизмичното въздействие върху всяка сграда от референтните земетресения. Оценени са повредите на сградите, причинени от тези въздействия. Оценени са директните социални загуби (жертви и ранени) и икономически загуби вследствие на реализирането на сеизмичните сценарии. В допълнение е изследвано поведението на различни мостови конструкции вследствие на сеизмични въздействия.



Фигура III.2. Станции и земетресения, включени в базата данни



Фигура III.3. Средна скорост на S-вълна в горните 30 m на профила почва/ скала за Пловдив



**Фигура III.4.** Разпределение на сградите във Варна по брой етажи

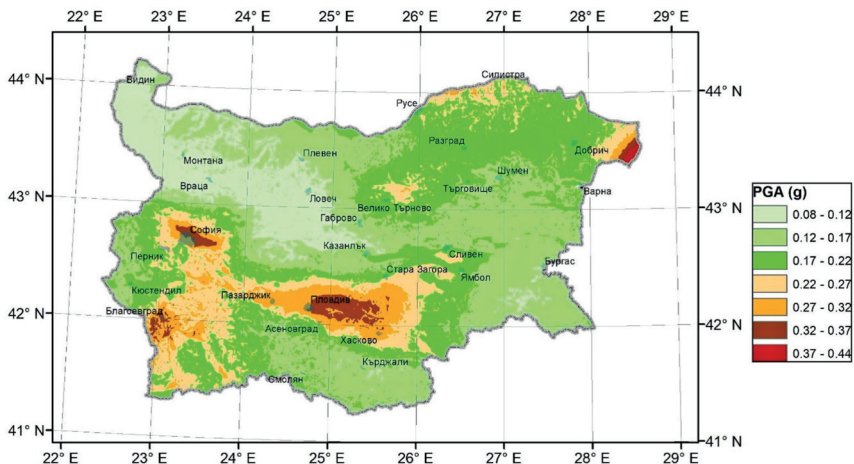
За всички градове са генерирани детерминистични и вероятностни сеизмични сценарии в максимално ускорение (PGA), максимална скорост (PGV), макросеизмична интензивност по скалата на Медведев – Шпонхойер – Карник (IMSK). На тяхна база са генерирани рискови сценарии, оценяващи последствията от съответните сеизмични въздействия.

### Получени по-важни резултати

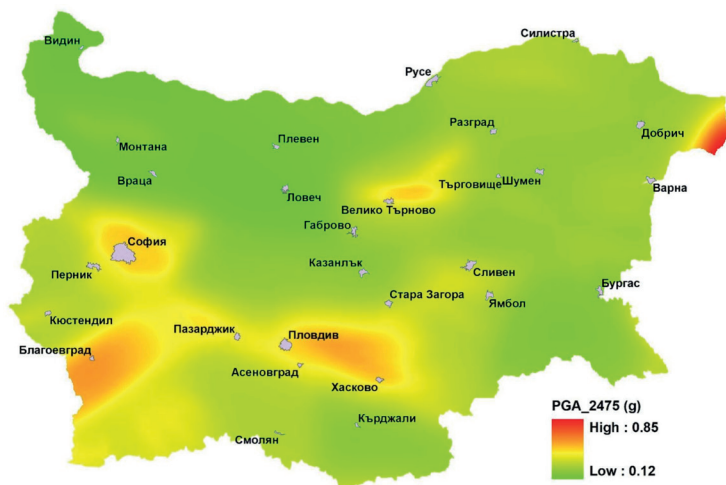
Оценката на сеизмичната опасност е основен елемент от стратегията за намаляване на сеизмичния риск. През 2018 г. е представено обновено сеизмично райониране на страната (Отчет НИГГГ, 2018 г., Solakov i dr. 2019 ). Резултатите са сеизмична опасност за периоди на повторяемост 95, 475 и 1000 г. за почвени условия „скала“. В рамките на проекта е оценена сеизмичната опасност с отчитане на инженерно-геоложките условия за периоди на повторяемост 475 г. (фиг. IV.1) и за 2475 (фиг. IV.2) и 4750 г. (фиг. IV.3) за почвени условия „скала“. Използвани са данните и процедурите, описани в Отчет НИГГГ, 2018 г. Инженерно-геоложки-



те условие (скорост на напречната вълна в горните 30 метра – Vs30) са взети от USGS Vs30 slope-based global map (Worden et al. 2015, Heath et al. 2020). Стойностите на Vs30 са разделени на 3 класа в съответствие с „Еврокод 8“: клас А – скорости над 800 m/s, клас В – скорости в интервала 360 – 800 m/s, и клас С – скорости в интервала 180 – 360 m/s.

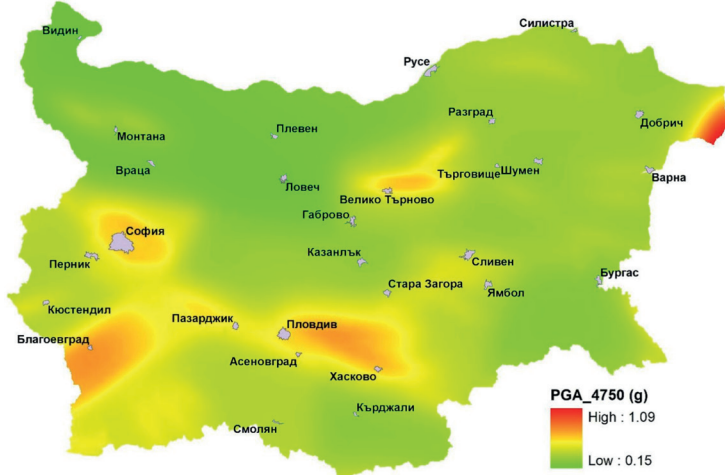


Фигура IV.1 Сеизмична опасност с отчитане на инженерно-геоложките



Фигура IV.2. Сеизмична опасност за период на повторяемост 2475 г. („скала“)





**Фигура IV.3.** Сеизмична опасност за период на повторяемост 4750 г. („скала“)

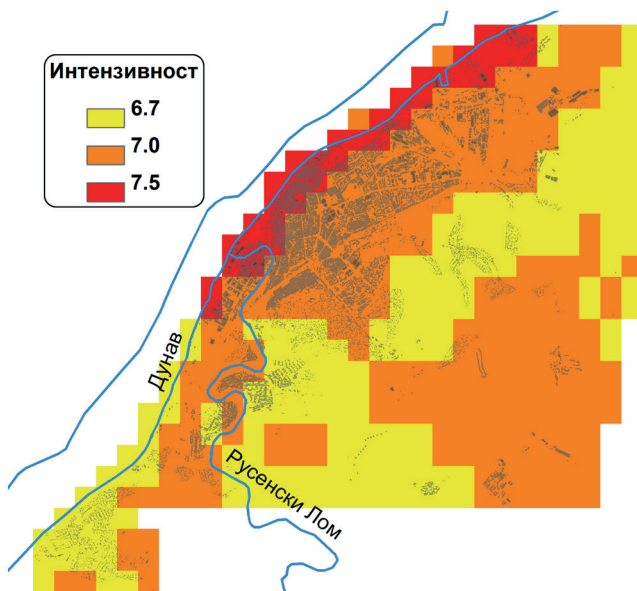
Крайната цел на задачата по проекта е създаването на сеизмични и рискови сценарии за шестте избрани града. Избраните градове са били въздействани с макросеизмична интензивност седем и по висока и са разположени в сеизмично активни области. Русе е избран поради силното въздействие от междиннофокусните земетресения в района на Вранча, Румъния. За всеки град са получени вероятности (475 г. период на повторяемост) и детерминистични сеизмични сценарии. На тяхна основа са генерирани сценарии за последствията от съответните сеизмични въздействия. За всички вероятностни сценарии е използван моделът на сеизмичните източници, представен в (Отчет НИГГГ, 2018 г., Solakov i dr. 2019). За плитките, корови земетресения са избрани следните 6 закона – Abrahamson et al. (2014), Boore et al. (2014), Campbell and Bozorgnia (2014), Chiou and Youngs (2013, 2014) и моделите Akkar et al. (2014), Cauzzi et al. (2015). За междиннофокусните земетресения, реализирани в района на Вранча, Румъния, са избрани законите, представени в работи на Youngs et al. (1997), Abrahamson et al. (2016) и Vacareanu et al. (2015).

### *Град Русе – сеизмични и рискови сценарии*

За референтно е избрано земетресение в района на Вранча, Румъния,

с магнитуд  $MW=7.5$ , дълбочина 94 km на хипоцентрално разстояние 240 km от града. Това са параметрите на земетресението от 4 март 1977 г. Земните движения в PGA са изчислени, използвайки закона за затихване от междиннофокусни земетресения, представен във Vasageanu et al. (2015). Изчислените максимални ускорения са конвертирани в интензивност, използвайки релацията в Ardeleanu et al. 2020. На фиг. IV.4 е представен детерминистичният сценарий в макросейзмична интензивност, използван за рисковия сценарий. За целите на риска на разглежданата територия е наложена квадрантна мрежа (с размер на квадранта 600m x 600m).

В табл. IV.1 са дадени вариациите на максималните ускорения и интензивностните от детерминистичните и вероятностните оценки. От таблицата се вижда, че детерминистичните оценки за максимално ускорение (PGA) и интензивност (I) са в интервала на вероятностните оценки, получени за период на повторяемост 95 години.

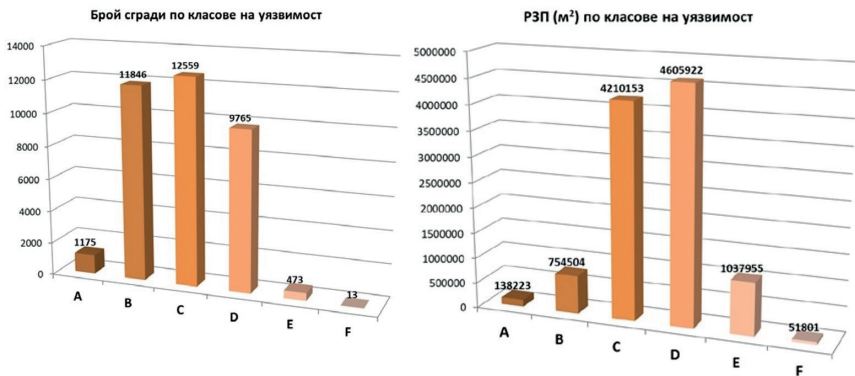


Фигура IV.4. Детерминистичен сценарий за Русе в макросейзмична интензивност

Таблица IV.1. Детерминистични и вероятностни оценки за Русе

	Детерминистична оценка за земетресение с $M_w 7.5$	Вероятностна оценка за период 95 години	Вероятностна оценка за период 475 години
PGA (g)	0.09 – 0.18	0.10 – 0.14	0.17 – 0.25
I	6.7 – 7.5	6.7 – 7.1	7.4 – 7.9

На фиг. IV.5 е представено разпределението на сградите по класове на уязвимост по брой и по РЗП.



Фигура IV.5. Разпределение на сградите в различните класове на уязвимост

Съпоставяйки очакваните въздействия от земетресението със сеизмичната уязвимост на сградния фонд, са получени прогностични оценки за директните повреди и разрушения в града. Разпределението на сградите по брой и разгъната застроена площ – РЗП [m<sup>2</sup>], при различните нива на повреди е обобщено в таблица IV.2. Същата таблица показва разпределението на сградите като процент от общия брой и общата застроена площ.

**Таблица IV.2.** Разпределение на сградите (по брой и РЗП) в различните нива на повреди

Нива на повреди	Без повреди	Леки повреди	Средни повреди	Тежки повреди	Много тежки повреди	Разрушени
Брой сгради	18769	11204	4331	1247	255	25
Брой сгради (%)	52.3	31.3	12.1	3.5	0.7	0.1
РЗП (m <sup>2</sup> )	7002477	2844204	740471	167853	37571	5960
РЗП (%)	64.8	26.3	6.9	1.6	0.3	0.1

Най-голям процент са сградите (като брой) без повреди или с леки повреди общо 83.6%. Застроената площ на сгради с тези повреди е малко над 91% от общата застроена площ (64.8% и 26.3%). Сградите с високи нива на повреди са относително малко – по брой са 3.5% за тежки и 0.7% за много тежки, по РЗП – съответно 1,6% и 0,3%. Площта на разрушените сгради е минимална – 0.1% по брой и по РЗП.

По данни на Националния статистически институт (31.12.2019 г.) населението на Русе е 141 231 души. За оценка на социалните загуби са разгледани два варианта, в зависимост от това кога е реализирано земетресението – през деня или през нощта. В таблица IV.3 са представени социалните загуби – разпределението на ранени и жертви.

**Таблица IV.2.** Разпределение на ранени и жертви (денем и нощем)

Ранени – денем (бр.)	Жертви – денем (бр.)	Ранени – нощем (бр.)	Жертви – нощем (бр.)
168 – 189	45 – 53	302 – 337	88 – 98

В табл. IV.3 са представени оценките за икономическите загуби.

**Таблица IV.3.** Икономически загуби от директни повреди и разрушения

	Жилищни	Административни	Специални	Общо
Икономически загуби (хил. лв.)	82651	34028	5650	122329

**Град Благоевград – сеизмични и рискови сценарии**

Благоевград е разположен в най-сеизмичната територия на страната. На фиг. IV.6 са представени сеизмичността и активните разломи в близост до града. В близост до града през 1904 г. е реализирано катастрофално земетресение с магнитуд  $M_w=7.2 - 7.6$ .

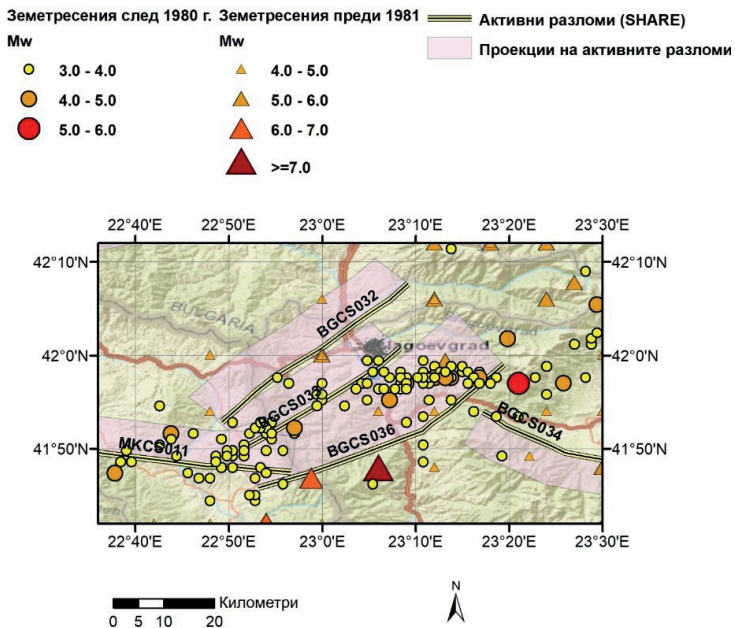
Разломът BGCS03 заляга под града и е избрано референтно земетресение по този разлом с магнитуд  $M_w=6.5$ . Генерирани са сценарии в максимално ускорение (PGA), максимална интензивност. На фиг. IV.7 е представен сеизмичният сценарий в макросеизмична интензивност (I) и максимално ускорение (PGA).

В табл. IV.4 са дадени интервалите на максималните ускорения и интензивности за града.

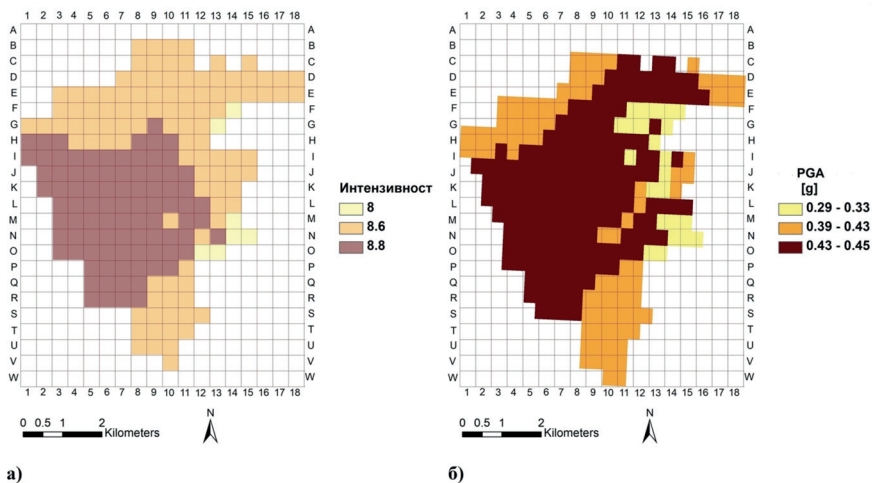
**Таблица IV.4.** Детерминистични и вероятностни оценки за Благоевград

	Детерминистична оценка за земетресение с $M_w=6.5$	Вероятностна оценка за период 475 години	Вероятностна оценка за период 1000 години
PGA (g)	0.29 – 0.45	0.23 – 0.34	
I МШК	8.0 – 8.8	7.7 – 8.5	8.2 – 8.8

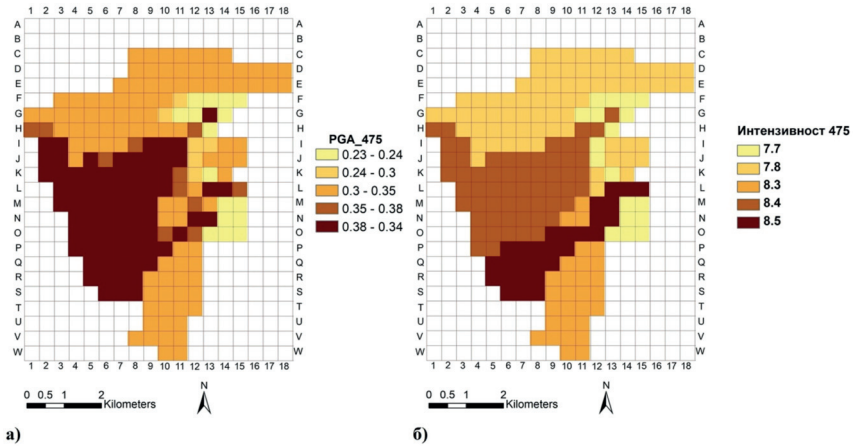
От таблицата се вижда, че детерминистичният сценарий е по-близък до вероятностния за 1000 г. период на повторемост.



Фигура IV.6. Сеизмичност и активни разломи в района на Благоевград



Фигура IV.7. Детерминистичен сценарий за Благоевград в: а) I и б) PGA



**Фигура IV.8.** Вероятностен сценарий (475 г.) за Благоевград в: а) PGA и б) I

На базата на сеизмичните сценарии са създадени рискови сценарии за последствията от съответните сеизмични въздействия. В Табл. IV.5 и IV.6 са дадени разпределенията на сградите с различен тип повреди.

**Таблица IV.5.** Разпределение на сградите (по брой и РЗП) в различните нива на повреди – детерминистичен сценарий

Нива на повреди	Без повреди	Леки	Средни	Тежки	Много тежки	Разрушение
Брой сгради	2637	4160	3884	2644	1308	388
Брой сгради (%)	17,6	27,7	25,9	17,6	8,7	2,6
РЗП (m <sup>2</sup> )	1396335	1515121	1015920	509862	189660	41058
РЗП (%)	29,9	32,5	21,8	10,9	4,1	0,9

Сравнението на резултатите показва, че резултатите за последствията от детерминистичния и вероятностния сценарий за период на повторемост 1000 г. практически са еднакви.

В табл. IV.6 е даден броят жертви и ранени за детерминистичния сценарий.

В таблица IV.7 са дадени оценените икономически загуби.



**Таблица IV.5.** Разпределение на сградите (по брой и РЗП) в различните нива на повреди – период на повторяемост = 1000 години

Нива на повреди	Без повреди	Леки	Средни	Тежки	Много тежки	Разрушения
Брой сгради	2638	4177	3921	2652	1304	379
Брой сгради (%)	17,5	27,7	26,0	17,6	8,6	2,5
РЗП (m2)	1379951	1521644	1024410	512342	189968	39641
РЗП (%)	29,6	32,6	21,9	11,0	4,1	0,8

**Таблица IV.6.** Разпределение на засегнатите хора – ранени и жертви (денем и нощем)

Ранени – денем (бр.)	Жертви – денем (бр.)	Ранени – нощем (бр.)	Жертви – нощем (бр.)
1056 – 1174	292 – 325	1116 – 1242	323 – 352

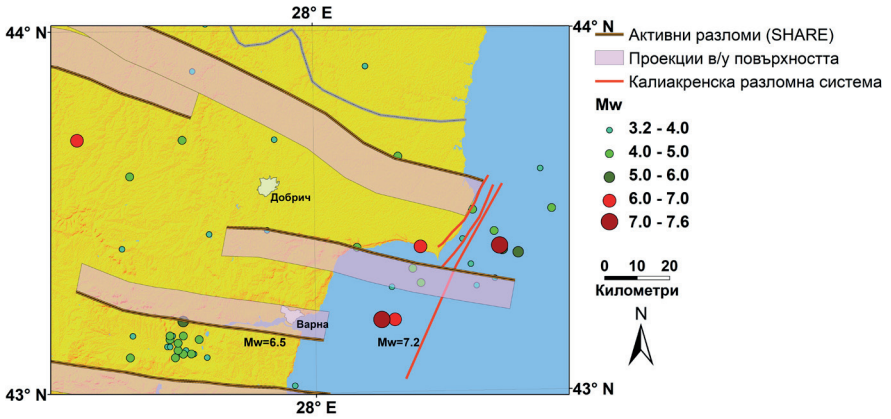
**Таблица IV.7.** Икономически загуби (хил. лв.) на повредите на сградния фонд

	Жилищни сгради	Индустриални и административни	Специални сгради	Общо
Икономически загуби (хил. лв.)	178102	107469	18805	304376

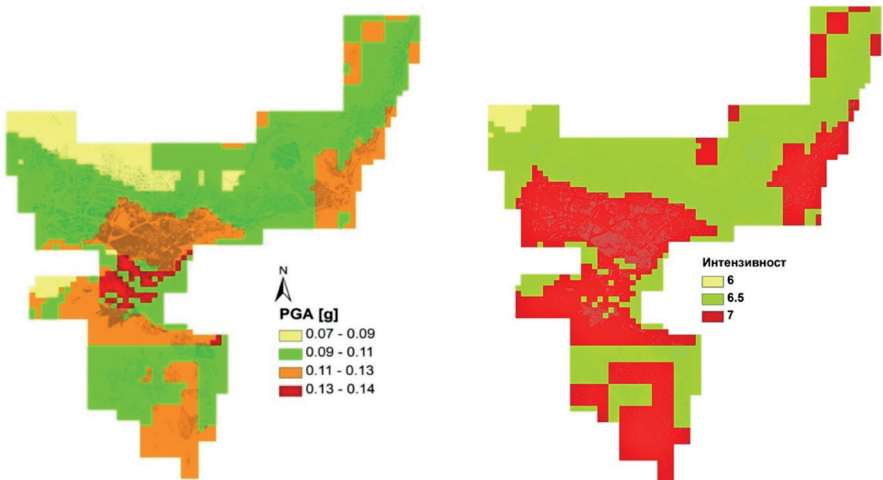
### *Град Варна – сеизмични и рискови сценарии*

Градът е в периферията на Шабленската сеизмогенна зона, разположена в северната част на Българското Черноморие. Най-силното земетресение, реализирано през XX век, е събитието от 31 март 1901 г. (с интензивност  $I_0 = 10$  МШК и магнитуд по сеизмичен момент  $M_W = 7.2$ ) е с епицентър в морето на около 20 км южно от нос Калиакра. На фиг. IV.9 са представени сеизмичността и активните разломи в близост до града.

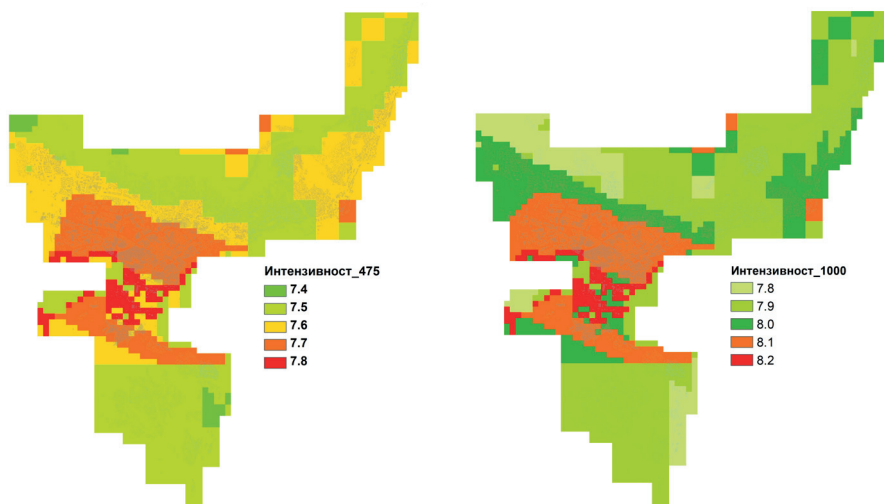
Генерирани са детерминистичен и вероятностен сценарий за земетресение с магнитуд  $M_W = 7.2$ , реализирано по Калиакренската разломна зона (в съответствие с фигура IV.9). На фиг. IV.10 е даден сеизмичният сценарий в PGA и макросеизмична интензивност за  $M_W = 7.2$ . На фиг. IV.11 са дадени сеизмични сценарии в макросеизмична интензивност 475 и 1000 г. период на повторяемост.



Фигура IV.9. Сеизмичност и активни разломи в района на Варна



Фигура IV.10. Детерминистичен сеизмичен сценарий за Варна в PGA и I



Фигура IV.11. Вероятностни сеизмични сценарии за Варна в PGA и I

В табл. IV.8 са дадени интервалите на сеизмично въздействие за града за различните сценарии. Данните показват, че детерминистичният сценарий за  $M_w=7.2$  е по-близък до вероятностния за 475 години период на повторяемост, докато сценарият за  $M_w=6.5$  е по-близък до този за 1000 г.

Таблица IV.8. Детерминистични и вероятностни оценки за Варна

Земетръсни сценарии	PGA [g]	Интензивност (MSK)
Детерминистичен сценарии за земетресение с $M_w=7.2$	0.07 – 0.14	6.2 – 7.2
Детерминистичен сценарии за земетресение с $M_w=6.5$	0.14 – 0.44	6.9 – 8.7
Вероятностен сценарии за период 475 години	0.15 – 0.23	7.4 – 7.8
Вероятностен сценарии за период 1000 години	0.21 – 0.30	7.2 – 8.2

Съпоставяйки очакваните въздействия от земетресение с магнитуд 7.2 (сеизмичен сценарий за Варна, представен на фигура IV.10) със сеизмичната уязвимост на сградния фонд, са получени прогностични оценки за директните повреди и разрушения в града. Разпределението на сградите по брой и разгъната застроена площ – РЗП [m<sup>2</sup>], при

различните нива на повреди е обобщено в таблица 5.2\_7. Същата таблица показва разпределението на сградите като процент от общия брой и общата застроена площ.

**Таблица 5.2\_7.** Разпределение на сградите (по брой и РЗП) в различните нива на повреди

Нива на повреди	Без повреди	Леки	Средни	Тежки	Много тежки	Разрушение
Брой сгради	41380	17215	4876	1192	235	25
Брой сгради (%)	63,74	26,52	7,51	1,84	0,36	0,04
РЗП (m2)	20597583	5134960	905206	135148	16687	1276
РЗП (%)	76,88	19,17	3,38	0,50	0,06	0,005

По-голямата част от застроената площ на сградите попадат в нива – без повреди и с леки повреди, които са съответно 76,88% и 19,17% от общия брой и общата застроена площ. Следват сградите с умерени щети – 3,38%. Високите нива на повреди са относително нисък процент – 0,5% за тежки и 0,06% за много тежки щети. Площта на разрушените сгради е минимална – 0,005%.

### По-важни статии

- Stefanov, D., D. Solakov, J. Milkov, 2020. Assessment of the effects of strong earthquakes on the city of Blagoevgrad. Proceedings of 20th Int. Mult. Sci. GeoConference SGEM, pp. 467 – 474, ISSN:1314-2704, DOI:10.5593/sgem2020/1.2/s05.060.
- Solakov, D., S. Simeonova, P. Raykova, I. Aleksandrova, 2020. Analysis of seismicity in Sofia seismogenic zone. 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, pp. 435 – 442, ISSN:1314-2704, DOI:10.5593/sgem2020/1.2/s05.056.
- Solakov, D., S. Simeonova, P. Raykova, B. Rangelov, 2020. Earthquake scenarios for the city of Blagoevgrad. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM; Sofia, vol. 20, Iss. 1.2, pp. 527 – 534. DOI:10.5593/sgem2020/1.2/s05.067.
- Solakov, D., S. Simeonova, P. Raykova, B. Rangelov, C. Ionescu, 2021. Earthquake ground motion scenarios for the city of Ruse. In Environmental

- Protection and Disaster Risks, series Studies in Systems, Decision and Control, Springer International Publishing, pp. 231 – 242, DOI 10.1007/978-3-030-70190-1.
- Oynakov, E., D. Solakov, I. Aleksandrova, and Y. Milkov, 2021. Spatial Variation of Precursory Seismic Quiescence Observed Before Earthquake from 01.04.2010 in the Region of Crete. In Environmental Protection and Disaster Risks, series Studies in Systems, Decision and Control, Springer International Publishing, pp. 243 – 262.
- Trifonova, P., D. Solakov, S. Simeonova, M. Metodiev, S. Balan, 2021. Seismic Scenario and People Exposure for Blagoevgrad Region, Bulgaria, In Environmental Protection and Disaster Risks, series Studies in Systems, Decision and Control, Springer International Publishing, pp. 293 – 308, DOI 10.1007/978-3-030-70190-1.
- Oynakov, E.; Solakov, D.; Aleksandrova, I., 2021. Assessment of Station Corrections (Site-Effect) For Seismic Stations from The Bulgarian Seismic Network Calculated On The Basis Of Local And Regional Earthquakes. Proc. XXI Int. Mult. Sci. GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management, vol. 21, Book 1.1, pp. 411 – 418.
- Aleksandrova, I., Solakov, D., Oynakov, E., 2021. Comparison of NOTSSI Network Stations' Corrections, After Analysis of the Seismic Noise And Earthquakes, Using the Method for Calculating the Ratio of the Amplitude Spectrums of H-V Signal Components. Proc. XXI International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2021, vol. 21, Book 1.1, pp. 435 – 442.
- Solakov, D., S. Simeonova, P. Raykova, M. Metodiev, 2021. Earthquake scenarios for the city of Plovdiv. Proc. XXI International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management, vol. 21, Book 1.1, pp. 459 – 466.
- Stefanov, D., D. Solakov, J. Milkov, 2021. Seismic risk for the city of Blagoevgrad. Proc. XXI International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management – SGEM 2021, vol. 21, Book 1.1, pp. 543 – 550.
- Simeonova, S., P. Raykova, D. Solakov, 2022. Seismological Analysis of The Swarm Type Seismicity In The Region of Velingrad, Bulgaria. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining

- Ecology Management, SGEM 22 (1.1), pp. 559 – 566.
- Solakov, D., S. Simeonova, P. Raykova, 2022. Deterministic Earthquake Scenario for The City of Varna. *Int. Mult. Sci. GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 22 (1.1), pp. 517 – 524.
- Oynakov, E., R. Ivanov, Aleksandrova, J. Milkov, M. Popova, 2023. Evaluation of the Nakamura vulnerability index of a cast-in-situ reinforced-concrete building from ambient noise records. *Lecture Notes in Networks and Systems 638 LNNS*, pp. 66 – 76.
- Stefanov, D., Solakov, D., Milkov, J., 2023. Assessment of the Effects of Strong Earthquakes on the City of Ruse. *Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 638 LNNS*, pp. 3 – 14.
- Solakov, D., Simeonova, S., Trifonova, P., Raykova, P., Metodiev, M., 2023. Earthquake Risk Scenarios for the City of Veliko Tarnovo, *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 638 LNNS, pp. 15 – 27.
- Solakov, D., S. Simeonova, P. Trifonova, M. Metodiev, P. Raykova, 2023. Earthquake scenarios and population exposure for the city of Plovdiv. *Natural Hazards*, vol. 118, no. 3, pp. 2153 – 2171.
- Trifonova, P., M. Metodiev, D. Solakov, S. Simeonova, 2023. Safety and security planning and disaster management in case of an earthquake in Bulgaria. *Int. Mult. Sci. GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM*; vol. 23, no. 5.1, pp. 595 – 604. DOI:10.5593/sgem2023/5.1/s23.81 .
- Stefanov, D., D. Solakov, J. Milkov, 2023 Consequences on people and the building stock of a strong earthquake for the city of Varna, *Int. Mult. Sci. GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM*; vol. 23, no. 1.1, pp. 541 – 548, <https://doi.org/10.5593/sgem2023/1.1/s05.65>.
- Oynakov, E., M. Popova, I. Aleksandrova, Y. Milkov, 2023. Determination of the dynamic and fractal characteristics of time series from a separate seismic energy source in the Balkan peninsula. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM*; vol. 23, no. 1.1, pp. 557 – 564, <https://doi.org/10.5593/sgem2023/1.1/s05.67>.
- Solakov, D., D. Stefanov, S. Simeonova, P. Raykova-Tsankova, 2024. Scenarii za seizmichnia risk na golemi gradove v Bulgaria, *Izd. Na BAN „Prof. Marin Drinov“*, str. 177.

## REFERENCES

- Abrahamson, N., Silva W., Kamai R., 2014. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthquake Spectra*, vol. 30, no. 3, pp. 1025 – 1055.
- Abrahamson, N., N. Gregor, and K. Addo, 2016. BC Hydro Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes. *Earthquake Spectra: February*, vol. 32, no. 1, pp. 23 – 44.
- Akkar, S., Sandikkaya, M. A., and Bommer, J. J., 2014. Empirical ground-motion models for point-and extended source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 359 – 387.
- Ardeleanu, L., C. Nagoe, C. Ionescu, 2020. Empirical relationships between macroseismic intensity and instrumental ground motion parameters for the intermediate-depth earthquakes of Vrancea region, Romania. *Natural Hazards*, vol. 103, no. 2, DOI: 10.1007/s11069-020-04070-0.
- Basili, R., Kastelic V., Demircioglu, M., Garcia Moreno, D., Nemser, E., Petricca, P., Sboras, S., Besana-Ostman, G., Cabral, J., Camelbeeck, T., Caputo, R., Danciu, L., Domac, H., Fonseca, J., García-Mayordomo, J., Giardini, D., Glavatovic, B., Gulen, L., Ince, Y., Pavlides, S., Sesetyan, K., Tarabusi, G., Tiberti, M., Utkucu, M., Valensise, G., Vanneste, K., Vilanova, S., Wössner, J., 2013. The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.
- Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., and Atkinson, G. M., 2014. NGA-West 2 equations for predicting PGA, PGV, and 5%-damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, vol. 30, no. 3, pp. 1057 – 1085, doi: 10.1193/070113EQS184M.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., 2014. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5%-damped linear acceleration response spectra. *Earthquake Spectra*, vol. 30, no. 3, pp. 1087 – 1115.
- Cauzziq C., E. Faccioli, M. Vanini, and A. Bianchini, 2015. Updated predictive equations for broadband (0:01\_10 s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. *Bull. of Earthq. Eng.*, vol. 13, no. 6, pp. 1587 – 1612.



- Chiou, B. S.J. and Youngs, R. R., Update of the Chiou and Youngs, 2014. NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, vol. 30, no. 3, pp. 1117 – 1153, doi:10.1193/072813EQS219M.
- Faccioli, E. and V. Pessina, with the collaboration of K. Pitilakis and M. Ordaz, 2004. RISK-UE. An advanced approach to earthquake risk scenario with applications to different European towns Contract: EVK4-CT-2000-00014, WP2 – Basis of a handbook of earthquake ground motions scenarios. Computer file.
- Faccioli, E., 2006. Seismic hazard assessment for derivation of earthquake scenarios in Risk-UE, *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 341 – 364.
- Grunthal, G. (ed), R. Musson, J. Schwarz, M. Stecci, 1998. *European Macroseismic Scale 1998-EMS98; (Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologies)*, vol. 15, Luxembourg.
- Heath, D.C., Wald, D.J., Worden, C.B., Thompson, E.M., and Smoczyk, G.M., 2020, A Global Hybrid Vs30 Map with a Topographic-Slope-Based Default and Regional Map Insets: U.S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/P96HFVXM>.
- Solakov, D., S. Simeonova, P. Raikova, I. Aleksandrova, 2020. An Earthquake Catalogue for Bulgaria and Adjacent Areas since 1981. *Proceeding of 1st International conference on Environmental protection and disaster RISKS*, 2, Az-buki National Publishing House, 2020, ISBN:978-619-7065-38-1, DOI:<https://doi.org/10.48365/envr-2020.1.39>, pp. 432 – 442.
- Vacareanu, R., M. Radulian, M. Iancovici, F. Pavel, and C. Neagu. 2015. Fore-arc and backarc ground motion prediction model for Vrancea intermediate depth seismic source. *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 535 – 562.
- Worden, C. B., D. J. Wald, J. Sanborn, and E. M. Thompson, 2015. Development of an open-source hybrid global Vs30 model, *Seismological Society of America Annual Meeting*, pp. 21 – 23, April, Pasadena, California.
- Otchet NIGGG, 2018. Proekt DSD-04, Upravlenie na seizmichniya risk za sgradi, chast 1 Otsenka na seizmichniya hazard. 120 str.
- Solakov D., S. Simeonova, P. Trifonova, I. Georgiev, P. Raykova, M. Metodiev, I. Aleksandrova, D. Stefanov, Sv. Simeonova, R. Vasteva, D. Dinkov, G. Georgiev, 2019. Upravlenie na seizmichniya risk za sgradi. Prof. Marin

Drinov, S. ISBN:978-954-322-988-8, str. 248.

Simeonov, S., Solakov, D., Georgiev, I., Vaseva, R., Dimitrov, D., Stefanov, D., Simeonova, S., Trifonova, P., Vaseva, E., Cherkezova, E., Aleksandrova, I., Kaneva, A., Varbanov, M., Metodiev, M., Raykova, P., Dinkov, D., 2018. Metodika za analiz, ochenka I kartografirane na seizmichniya risk na Republika Bgaria. Stroitelstvo I arhitektura, , № 5, ITUS'98, str.132.

**СЪЗДАВАНЕ НА ЕДИННА ГЕОИНФОРМАЦИОННА СРЕДА  
ЗА ИНФОРМАЦИОННО ОБЕЗПЕЧАВАНЕ  
НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА В НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА  
ПРОГРАМА „ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА  
И НАМАЛЯВАНЕ НА РИСКА ОТ НЕБЛАГОПРИЯТНИ  
ЯВЛЕНИЯ И ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ“**

Доц. д-р Стелиян Димитров, проф. д-р Антон Попов,  
гл.ас. д-р Стефан Петров, гл.ас.д-р Леонид Тодоров,  
ас.д-р Иво Ихтимански, ас. Мартин Илиев, ас. Лидия Семерджиева

*Софийски университет „Св. Климент Охридски“*

**проф. д-р Тодор Гюров,**

*Институт по информационни и комуникационни технологии – БАН*

**проф. д-р Стоян Недков,**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география – БАН*

### **Въведение**

Една от основните задачи на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ е свързана със създаването на единна геоинформационна среда, която да служи както за вътрешни цели на екипа от изследователи, които са ангажирани с програмата, така и за разпространение на научните резултати до всички заинтересовани страни. Необходимостта от тази геоинформационна среда е свързана с преобладаващия геопространствен характер на данните и информационните ресурси, които се генерират в хода на научните изследвания. В тази връзка, беше необходимо изграждането на съответната геоинформационна инфраструктура и интегрирана геобаза от данни, които да позволят споделянето на геоинформационни ресурси и услуги между различните категории потребители (вътрешни и външни).

Във връзка с изграждането на средата, работата по РП пакет беше организирана в няколко основни направления, които бяха формулирани като отделни работни подпакети:

- РП.П.1.1. Проучване на нуждите и обезпечеността с геопространствени данни и информационни ресурси
- РП.П.1.2. Разработване на единни изисквания към участниците относно качеството, форматите и стандартите на геоинформационните ресурси и свързаните с тях метаданни
- РП.П.1.3. Проектиране и изграждане на интегрирана геобазата данни
- РП.П.1.4. Осигуряване на изчислителна среда за използване на най-съвременни числени, динамични и статистически модели
- РП.П.1.5. Разработване на ГИС свързано приложение на НП, осигуряващо технологични и аналитични възможности за специализирани геоинформационни услуги

Всички подпакети и свързаните с тях дейности са не само с технически характер, но и със съществен принос към изследователските дейности, осъществявани в рамките на програмата. В тази връзка, бяха се осъществиха изследвания, свързани както с осигуряване на възможности за интеграция на различни технологични решения в изследването, картирането и моделирането на различни категории природни рискове и заплахи (например при изследване на заплахата и риска от наводнения, както и рискове, свързани с градската среда, като градския топлинен остров). Съществен принос на този работен пакет са и изследванията, насочени към осигуряване на надеждни и прецизни геоданни чрез подхода на дигиталните двойници на територията, използван в конкретни изследвания на градската среда на София и Бургас.

Определено постижение на работния пакет е и осигуряването на ефективна изчислителна среда, която да позволи приложението на най-съвременни числени, динамични и статистически модели, които стоят в основата на по-голямата част от изследванията в обхвата на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“.

### **Проучване на нуждите и обезпечеността с геопространствени данни и информационни ресурси (РП.П.1.1)**

*В рамките на тази дейност бяха предприети широк набор от действия, пряко насочени както към изследването на различни кате-*

гории източници на геопространствени данни, така и в изясняване на конкретните изследователски нужди в рамките на програмата. Акцентът в рамките на този работен подпакет бяха съществуващите платформи в национален, европейски и международен план, които са потенциален източник на геоинформационни ресурси и геоинформационни услуги, необходими за обезпечаването на изследователския процес на програмата.

С оглед на спецификата на програмата, основен акцент беше поставен в осигуряването на данни от регионални климатични модели за територията на България.

Проучването първоначално обхваща наличните данни от интегрираните глобални климатични модели (AOGCM или CGCM), които се разработват от различни водещи научни центрове в света, като например: Max Planck Institut für Meteorologie (MPI-M), Hamburg; Hadley Centre for Climate Prediction and Research; Climate Modelling Centre (Institut Pierre-Simon Laplace, IPSL), Франция; Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCMA); Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), САЩ; National Centre for Atmospheric Research (NCAR), САЩ; CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), Австралия и др. За да има сравнимост на резултатите от моделите, разработвани от различни колективи и институции, се извършават сравнителни експерименти с тях в рамките на изследователски международни проекти – т.нар. *Coupled Model Intercomparison Projects* (CMIP). В тях участват различни групи от учени, които чрез множество експерименти с различните глобални модели оценяват тяхното „поведение“ (поотделно или в ансамбъл) по отношение на това как отделят естествената вариабилност на климата от антропогенните ефекти върху него и какъв е евентуалният принос на антропогенните емисии според различните сценарии върху изменението на климата към различни бъдещи хоризонти.

Главната цел на различните фази на проекта CMIP е да предоставя на световната научна общност пълни бази данни, придружени от протоколи и метаданни за симулациите с интегрираните глобални климатични модели със стандартизирани гранични условия. Така например CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project phase 3) включва базите данни от симулациите с глобалните модели, използвани при подготовката на

Четвъртия оценъчен доклад (AR4) на IPCC по сценариите SRES. В резултат от експериментите, извършени от 16 научни институции в 11 държави, са оценени и сравнени общо 23 глобални модела, (Meehl et al. 2007<sup>1</sup>). CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5) включва базите данни от симулациите с глобалните модели, използвани при подготовката на Петия оценъчен доклад (AR5) на IPCC по сценариите RCP. По проекта CMIP5 са извършени експерименти от 30 изследователски центъра в различни страни на света с общо 61 глобални модела от ново поколение<sup>2</sup> (табл. 1).

**Таблица 1.** Главни характеристики на CMIP3 и CMIP5<sup>3</sup>

Характеристики	CMIP3	CMIP5
Използвани сценарии	SRES (B1, A1B, A2)	RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)
Исторически период	1880 – 2000	1850 – 2005
Бъдещ период	2001 – 2100	2006 – 2100 (2300)
Участващи научни институции	16	30
Използвани глобални модели	23	61
Извършени моделни симулации	120	250
Средна пространствена резолюция	~250 км	~150 км
Времеви скали на архивираните данни	Месечни	Денонощни и месечни
Брой и обем на архивираните файлове	~37 хил. (~6 TB)	~600 хил. (~116 TB)
Оценъчни доклади на IPCC за изменението на климата, използвали тези климатични проекции	IPCC AR4 (2007)	IPCC AR5 (2013/2014)

Някои от включените в експериментите глобални модели имат десетки версии (примерно моделът HadCM3Q има 16 версии), различаващи се

<sup>1</sup> Източник: Meehl, G., A. C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. J. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, K. E. Taylor (2007). The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, Bull. Am. Meteorol. Soc., vol. 88, pp. 1383 – 1394.

<sup>2</sup> Забел. Базите данни за CMIP3 и CMIP5 са достъпни на адрес <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>

<sup>3</sup> Източник: CMIP3 и CMIP5.

главно по физичната и динамичната им параметризация (радиационна схема, турбулентен обмен на топлина и влага и пр.). Използването в ансамбъл на различни версии на един и същи глобален модел позволява по-ясно да се оцени несигурността на резултатите от климатичните проекции. От друга страна, асемблирането на над 40 глобални модела (т.нар Ensemble Data Assimilation, EDA) при подготовката на IPCC AR5, също дава възможност да се определи диапазонът на несигурност на резултатите от климатичните проекции по различните RCP сценарии (RCP2.6, RCP4.5, RCP6 и RCP8.5).

Впоследствие фокусът на анализа беше насочен към **реализирани регионални модели за изменение на климата за територията на страната с висока пространствена резолюция**. Последното поколение регионални климатични модели с висока резолюция се захранват с данни от CMIP5 за RCP сценариите по Петия оценъчен доклад на IPCC (1913/1914 г.). Територията на България се обхваща от моделите, участващи в проекта Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX), като на този етап максималната резолюция, която се използва е  $0.11^\circ \times 0.11^\circ$  (или  $\sim 12$  км). По проекта са извършвани и симулации от Goethe University (Frankfurt) с по-висока от посочената резолюция ( $0.088^\circ \times 0.088^\circ$ ) за историческия период 1949 – 2005 г. с изходни данни от ERA-Interim, както и симулации със същата по-висока резолюция на очакваните климатични промени за периода 2006 – 2100 г. по двата сценария RCP4.5 и RCP8.5. Реализираните досега симулации са осъществени с моделите ICTP RegCM 4.3, MPI REMO, CNRM ALADIN 5.2, UCLM PROMES, GUF CCLM 4-8-18, BSC NCEP NMMB и др., базите данни с резултатите от които са публично достъпни на сайта на проекта. Тъй като проектът е в ход на изпълнение, се генерират и все по-нови бази данни с резултати от извършваните симулации.

Проучването ни установи, че основната група с регионални климатични модели, които са обезпечени с необходимите данни от симулации с тях, покриващи цялата територия на Република България, се съдържат в регионалния домейн на MED-CORDEX (фиг. 1).





Фигура 1. Пространствен домейн на регионалните модели в MED-CORDEX<sup>4</sup>

Симулациите на MED-CORDEX събират данни от резултати за три групи експерименти (оценка, исторически, сценарии) с четири типа регионални модели (атмосферни, приземни, океански, интегрирани – RCSM). Тези симулации се класифицират в две категории: CORE симулации и TIER1 симулации (фиг. 2).

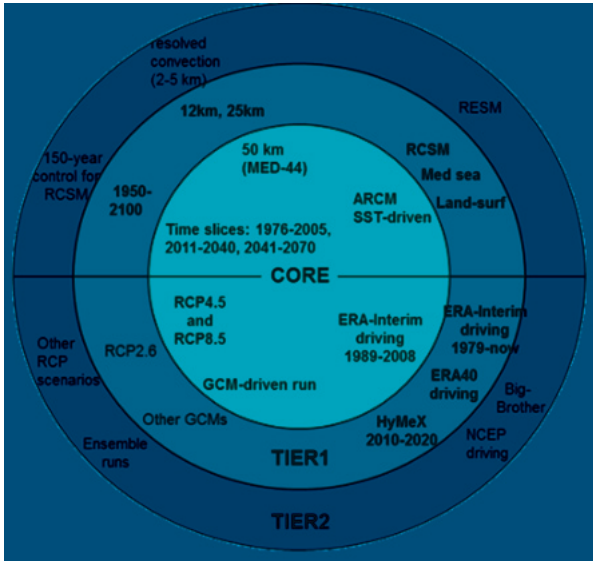
#### *CORE симулации*

Работната рамка на симулациите на MED-CORDEX следва общата рамка на симулациите по проекта CORDEX за Средиземноморския домейн (MED-44) с базова резолюция ~50 км:

- само атмосфера – суша;
- ~50 км задължителна резолюция за домейна MED-44;
- оценъчни експерименти с данни от реанализа от ERA-Interim (за периода 1989 – 2008 като минимум);

<sup>4</sup> Източник: Проект Med-CORDEX ([www.medcordex.eu/](http://www.medcordex.eu/))

- експерименти с исторически данни (за периода 1981 – 2005 като минимум и разширени за периода 1950 – 2005);
- експерименти за бъдещи периоди по сценариите RCP от IPCC AR5 (RCP8.5, RCP4.5,) за 2011 – 2040 или 2041 – 2070 като минимум и разширени за периода 2006 – 2100).



Фигура 2. Организация на симулациите в базата данни Med-CORDEX<sup>5</sup>

Симулациите са описани чрез уеббазата данни на сайта на HyMeX<sup>6</sup>. Всяка форма съответства на една симулация и дава подробности за модела, референтната статията, групата на моделиране и т.н. Чрез тези форми може да се получи достъп до архивираните резултати от симулациите, съдържащи се в базата данни на MED-CORDEX.

### *TIER1 симулации*

Симулациите включват:

- разширяване на оценъчните симулации с данните от реанализа от ERA-Interim за възможно най-дългия период, и по-специално представя последователно най-новите данни за оценката и резултатите от проекта

<sup>5</sup> Източник: Проект Med-CORDEX ([www.medcordex.eu/](http://www.medcordex.eu/))

<sup>6</sup> <http://mistrals.sedoo.fr/HyMeX/Platform-search/?dataType=2>

НуМеХ. Периодът, който се препоръчва, е 1979 – 2013 г.;

– резултати от симулациите с регионалните модели, базирани на атмосферния компонент на глобалните модели, с целева резолюция  $0.11^\circ \times 0.11^\circ$ , или  $\sim 12$  км (MED-11), като са възможни и междинни или по-високи резолюции;

– резултати от симулациите, асемблирани в Регионалната система за климатичните модели (Regional Climate System Models, RCSM), в която отделните компоненти (атмосферни, приземни, речни, океански) изцяло си взаимодействат и покриват целия пространствен домейн на MED-CORDEX с висока резолюция;

– съставяне на самостоятелни симулации за всички отделни компоненти от RCSM.

Използваните при симулациите регионални климатични модели могат да бъдат групирани по следния начин.

– Регионални модели, базирани на атмосферния компонент с пространствена резолюция  $\sim 50$  –  $\sim 25$  км: *RegCM3*, *RegCM4*, *ALADIN*, *REMO2009*, *LMDZ*, *EBU*, *WRF*, *COSMO-CLM*, *PROMES*.

– Регионални модели, базирани на атмосферния компонент с пространствена резолюция  $\sim 10$  –  $\sim 20$  км: *RegCM4*, *ALADIN*, *WRF*, *COSMO-CLM*.

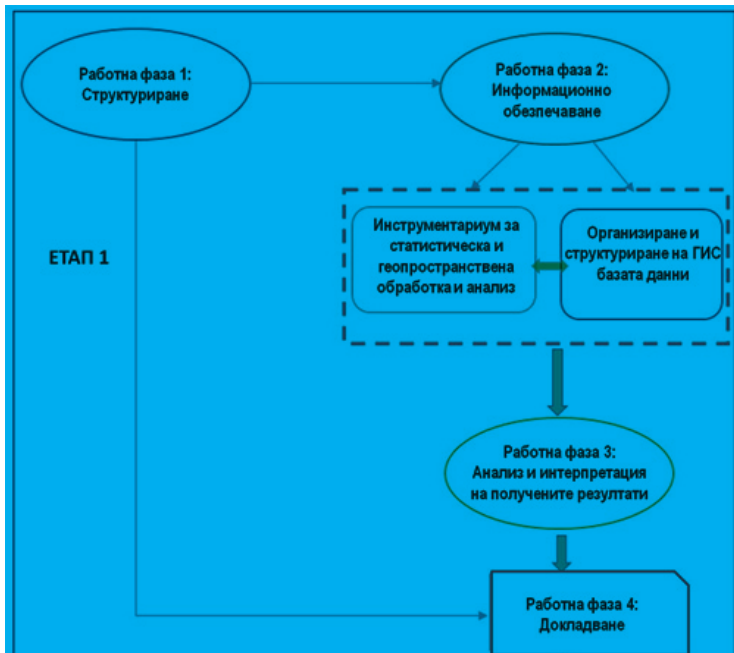
– Регионални климатични модели, базирани на океанския компонент: *MITgcm*, *NEMOMED8*, *MPIOM*, *NEMOMED12*, *MOSLEF*, *POM*, *INSTM-MED*, *NEMO-MFS*.

– Интегрирани модели в Регионалната система за климатичните модели (RCSM): *ENEA*, *MPI*, *CNRM*, *LMD*, *Univ. Belgrade*, *MORCE-MED*, *UCLM/UPM*, *INSTM*, *COSMO-CLM*, *UAH*, *IC3*, *CMCC*.

За целите на настоящия проект, в частта му за осигуряване на надеждни данни за оценка на очакваните климатични промени, е адаптирана изследователска методология. В методологически аспект особено внимание е отделено и на различните национални и международни нормативни документи, стратегически документи, рамкиращи политиките за опазване и рационално използване на водните ресурси в контекста на климатичните промени. Това позволи да се подготви общата методологическа схема за осигуряване на качествена информационна основа за

оценка на климатичните промени. В структурно отношение адаптираната методика има интегриран характер, като включва четири логически свързани работни фази, обхващащи набора от дейности и изследователски процедури, които са в основата на научноизследователския цикъл от програмата.

Методологическата схема на изследването включва отделни работни фази, продуктите от които са необходими за всяка следваща фаза по изпълнение на предвидените по проекта дейности (фиг. 3).



Фигура 3. Обща схема на адаптираната методика за оценка на климатичните промени

Главната цел на Работна фаза 1 е да осигури научно-методическата и организационната работа по изпълнение на дейностите и конкретните задачи на изследване. В подготвителната част на тази фаза се извършва запознаване със съществуващия опит, натрупан от реализирани подобни проекти, с теоретичните и практическите резултати от тях – моделиране на климатичните промени, използваните сценарии, глобални и регио-

нални модели за симулиране на климатичните промени, оценката на не-сигурностите на резултатите, получени от симулациите, и редица други важни аспекти, свързани с подобни изследвания. Съществена част от дейностите през тази фаза има и чисто организационен характер, да се осигурят времевите рамки на изследователските задачи и структурата и съдържанието на същинските изследователски дейности, включени в следващите работни фази.

Логическата последователност на изследователския цикъл определя като следваща работна фаза да бъдат включени дейности, насочени към адекватното информационно осигуряване на изследването (Работна фаза 2). Именно информационната обезпеченост на анализа е от изключително важно значение за успешното изпълнение на всички изследователски дейности. С оглед на това бяха проучени и оценени наличните бази данни с изходни данни от извършените климатични симулации с регионални модели по различни проекти. Установени бяха актуалността им по отношение на използвани глобални и регионални модели, сценарии, исторически и бъдещи периоди. На тази основа бяха идентифицирани информационните дефицити и бяха селектирани бази данни с резултати от извършени симулации. Едновременно с това беше създаден работен механизъм за анализ на информационната обезпеченост, който да бъде прилаган и актуализиран през целия изследователския процес в рамките на проекта. По този начин беше създадена основата за събиране, оценка и обработка на изходните данни и генерирането на необходимата информация за адекватното изпълнение на аналитично-интерпретационната фаза на проекта.

Всички базови променливи са достъпни във вид на мултидименсиални бази данни в NETcdf формат, като на конкретните подробности за обработката и интерпретацията на данните ще се спрем малко по-надолу в тази точка на доклада.

Друг важен момент в тази работна фаза от адаптираната методика е свързан с разработването на целеви ГИС модул в единната геоинформационна среда, който да служи като основен инструмент за информационно обезпечаване на анализа на очакваните климатични промени за целите на обезпечаване на изследователския процес на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“.

## **Изисквания, стандарти и качество на геопространствените информационни ресурси (РП.П.1.2)**

Разнообразието от данни, събирани и обработвани за целите на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, *изисква спазването на определени стандарти при проектирането и изграждането на инфраструктурата, които следва да съответстват на изискванията на международно утвърдените стандарти, и най-вече на определените от Директивата INSPIRE изисквания, чиято основна цел е даде възможност за оперативна съвместимост и където е възможно – хармонизация на масиви от пространствени данни и услуги в рамките на ЕС. Според тази директива оперативната съвместимост трябва има наднационален характер и трябва да вземе предвид различните нужди от информация за общността.*

В рамките на настоящата ННП е налице огромно разнообразие в обхвата и спецификата на данните, които се генерират от различните участници в отделните работни пакети и подпакети. Те имат различен тематичен обхват, като включват данни от референтни системи от хидрография и от кадастрален парцел до атмосферни условия. В тази връзка, възниква въпросът за специфичните изисквания за оперативна съвместимост и хармонизация на географската информация в рамките на програмата, които следва да бъдат унифицирани не само като структура и формати, но и по отношение на метаданните, които ги описват. Именно от наличните метаданни до голяма степен зависи степента на използваемост и откриваемостта на информационните ресурси, които се съдържат в интегрираната геобаза данни на програмата.

Важно е да се отбележи, че оперативната съвместимост се разбира като предоставяне на достъп до масиви от пространствени данни, както е посочено в член 4 от директивата INSPIRE чрез мрежови услуги за представяне, което позволява комбинирането им с други масиви от пространствени данни по съгласуван начин. С други думи, чрез активиране на оперативната съвместимост данните могат да се използват последователно, независимо от това дали съществуващата съвкупност от данни действително се променя (хармонизира), или „просто“ се трансформира от услуга за изтегляне за публикуване в INSPIRE.

В рамките на тази задача са разработени единни изисквания и формат

за описание на данните, събирани и обработвани за целите на програмата.

Въз основа на определените стандарти и принципи, както и на база спецификата на информационните ресурси, които се генерират в рамките на работните пакети в обхвата на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, са определени следните минимални изисквания за структурата и съдържанието на метабазаданните (табл.2).

**Таблица 2.** Изисквания за структурата и съдържанието на метабазаданните

Поле	Описание	Изискване
Наименование	Разбираемо от човека име на актива. Трябва да е на български и английски език и да включва достатъчно подробности, за да улесни търсенето и откриването.	Задължително
Описание	Четимо от човека описание (напр. резюме) с достатъчно подробности, за да позволи на потребителя бързо да разбере дали активът представлява интерес.	Задължително
Тагове (Общи)	Етикетите (или ключовите думи) помагат на потребителите да открият съответния набор от данни; ННП „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ изисква използването на ключови думи от няколко различни стандартни тезауруса; моля, включете и термини, които биха били използвани от технически и нетехнически потребители.	Задължително
Тагове (ISO)	Тематичната категория по ISO 19115 е обща категоризация на ресурсите за данни, която има за цел да осигури последователност в класификацията на данните.	Задължително
Tags (Място)	Едно или повече географски имена на обекти, описващи обхвата на пространствена приложимост на набора от данни.	Задължително
Последен ъпдейт	Най-скорошната дата, на която наборът от данни е променен, актуализиран или модифициран, или за непрекъснато актуализирани данни – честотата, с която данните се актуализират.	Задължително



Национална научна програма

Публикуваща организация	Наименование на организацията, отговорна за публикуването на набора от данни.	Задължително
Лице, публикуващо данните	Името на лицето, отговорно за набора от данни.	Задължително
E-mail	Имейл адресът, на който трябва да се изпращат въпроси относно този набор от данни.	Задължително
Идентификатор	Този елемент представлява уникален идентификатор за записа на метаданни. Може да е UUID или DOI.	Задължително
Ниво на достъп	Степента, до която този набор от данни може да бъде публично достъпен, независимо дали е предоставен. Избор: публичен (активът за данни е или може да бъде направен публично достъпен за всички без ограничения), ограничен публичен (активът за данни е достъпен при определени ограничения за използване) или непубличен (активът за данни не е достъпен за обществеността).	Задължително
Права	Обяснение за избрания модел на достъп, включително инструкции как да се осъществи достъп до ограничен файл, ако е приложимо, или обяснение защо „непубличен“ или „ограничен публичен“ актив на данни не е „публичен“, ако е приложимо. Текст, 255 знака.	Опция
Лиценз	URL адресът към уеб страница, описваща лиценза за данни, уреждащ използването на този набор от данни.	Ако е приложимо
Ограничения за ползване	Това незадължително поле позволява да бъдат включени всички общи ограничения.	Опция
Пространствен обхват	Обхватът на пространствената приложимост на набор от данни. Трябва да включва пространствен регион като ограничаващо поле, но може да бъде и име на място.	Задължително за геоданни
Темпорален обхват	Диапазонът на времева приложимост на набор от данни (т.е. начална и крайна дата на приложимост за данните).	Задължително
URL за разпространение	Един или повече URL адреса, осигуряващи достъп до набора от данни.	Задължително
Дата на метаданните	Датата, когато метаданните са създадени или последно актуализирани.	Задължително

Честота на осъвременяване	Честотата, с която се публикува или актуализира набор от данни.	Задължително за геоданни
Език	Езикът на документа с метаданни	Задължително за геоданни
Страна	Държавата, в която е създаден документът с метаданни.	Задължително за геоданни
Пространствена референция	Идентифициране на използваните хоризонтални проекции, вертикални датуми и времеви референтни системи.	Задължително за геоданни
Модел на пространствена репрезентация	Цифрово представяне на пространствена информация в набора от данни (вектор/растер, точка/линия/полигон и т.н.).	Задължително за геоданни

### Проектиране и изграждане на интегрирана геобазата данни (РП. II.1.3.)

За целите на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ е разработена интегрирана геобазата данни. Тя е проектирана и разработена във формата на ESRI Geodatabase (фиг. 4), като за целта е създаден корпоративен модел на базата на СУБД PostGRE.

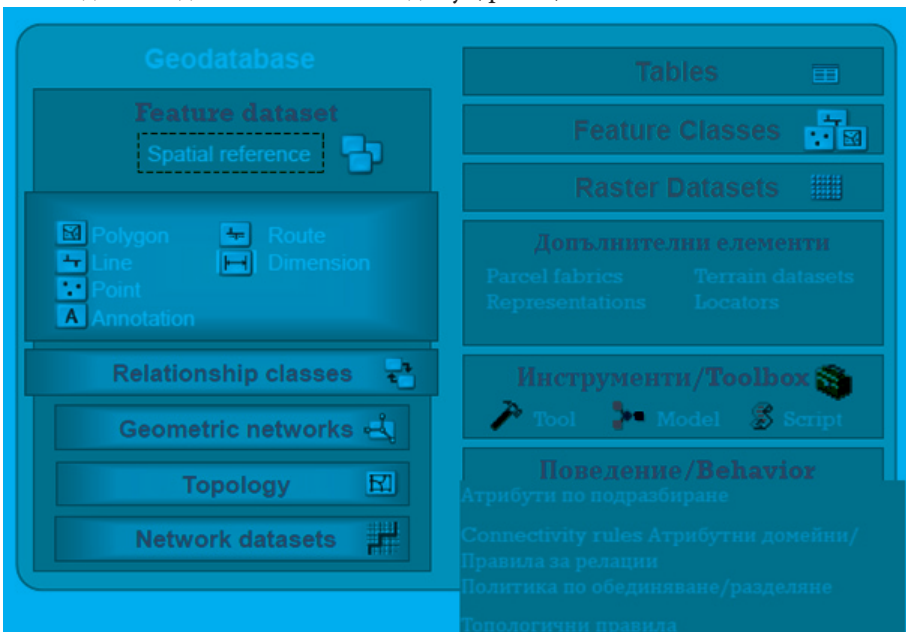


Фигура 4. Формати и нива на геобазаданни формата на ESRI

Моделът е построен на база разширени възможности на реляционна база данни, който включва:

- базов релационен модел;
- релационна интегрираност;
- базов модел на „къси“ транзакции;
- поддържа непрекъснати големи масиви от данни;
- надеждност, гъвкавост, мащабируемост;
- построен е на основата на simple feature model;
- Open access (OGC, C, COM, SQL).

Разработената структура на базата данни включва организирани данни в координатна система БГС2005, като се включват всички основни елементи, които се поддържат от основния модел. Тези типови елементи могат да се видят на схемата по-долу (фиг. 5).



Фигура 5. Типови елементи в структурата на геобазата данни

В съответствие с разработената концепция и създадената структура на геобазата в ESRI Geodatabase формат са осигурени възможности за добавяне на информационни ресурси в съответствие с необходимостите на изследователските процеси.

### **Осигуряване на изчислителна среда за използване на най-съвременни числови, динамични и статистически модели (РП.П.1.5)**

Една от важните цели на настоящия работен пакет е свързана с осигуряването на съвременна и надежна изчислителна среда. В тази връзка бяха формулирани следните основни задачи в рамките на този подпакет.

- Да се идентифицират специфични модели и софтуерните пакети, необходими за осъществяване на дейностите по работни пакети РП.П.1 – РП.П.10., изискващи изчислителни ресурси, дисково пространство, ресурси за визуализация и услуги.
- Да се идентифицират крайните потребители, които ще използват тези ресурси.
- Да се подготвят програми за въвеждане и обучение по използване на работната среда.
- Да се осигурят адекватна потребителска поддръжка и регулярно обновяване и оптимизация на моделите и софтуерните пакети.

### **Работата по тази група дейности беше ръководена от проф. Тодор Гюров, като целият екип има следния състав:**

- проф. д-р Тодор Гюров, ИИКТ – БАН, имейл: gurov@parallel.bas.bg;
- доцент д-р София Ивановска, ИИКТ – БАН, имейл: sofia@parallel.bas.bg;
- доцент д-р Цветан Остромски, ИИКТ – БАН, имейл: ceso@parallel.bas.bg;
- д-р Анастас Маджаров (до 2022), ИИКТ – БАН, имейл: amadzharov@acad.bg;
- асистент Владимир Димитров (до 2021), ИИКТ – БАН, имейл: vgd@acad.bg;
- прогнр. Руслан Сербезов, ИИКТ – БАН, имейл: rserbezov@parallel.bas.bg.

Дейностите в работният пакет са следните.

- Проучване на специфичните модели и софтуерни пакети, изискващи инсталиране върху суперкомпютърните системи в ИИКТ – БАН, и необходими за осъществяване на дейностите по работни пакети, РП.П.1 – РП.П.10.

– Определяне на потребителите, на които ще се предостави достъп до най-мощната в Югоизточна Европа суперкомпютърна система „Авитохол“, с пикова производителност 412.32 TFlops и/или до хетерогенната HPCG изчислителна система. Запознаване с политиките за достъп и сигурност (обещани 15 потребителски акаунта, в края на проекта има 18 потребителски акаунта)

– Провеждане на обучителни курсове за ползване на изчислителните ресурси и използването на необходимия софтуер и библиотеки (организиран 1 обучителен курс на 14.09.2020 г. – брой участници 23 членове на проекта, <https://events.iict.bas.bg/event/17/> ; Участие в обучителни курсове, организирани по други проекти в периода 2020 – 2024 – над 10, брой участници над 50).

– Инсталиране, тестване, оптимизиране на работата на необходимите модели, софтуер, библиотеки, услуги и регулярно обновяване (**обещани 10, инсталирани 14 броя**).

– Осигуряване на адекватна потребителска подкрепа, наблюдение на използваните изчислителни ресурси и дисково пространство (**обещано дисково пространство 5 ТВ, осигурено до 200 ТВ**), промотиране на сътрудничеството между групите със сходни модели на пресмятане.

### Получени фундаментални резултати

Мощен инструмент за изучаването и подобряването на надеждността на математически модели, които са с големи размерности и са трудоемки, се явява анализът на чувствителността. Примерни за подобни трудно решими математически модели са замърсяването на въздуха, метеорологичните модели. При тях се наблюдава несигурност във входните набори от данни и параметри. Представяме някои резултати от нашето глобално проучване на чувствителността на Унифицирания датски модел на Ойлер (UNI-DEM).

Благоприятна характеристика на UNI-DEM е неговата усъвършенствана химическа схема – Condensed CBM IV, която разглежда в детайли голям брой химични видове и многобройни реакции между тях. Известно е, че озонът е един от най-опасните замърсители. Изследвана е чувствителността на изходните резултати на UNI-DEM за концентрацията на озон към вариациите на някои коефициенти на скоростта на

химична реакция. В това изследване са използвани три различни стохастични алгоритъма (суров „Монте Карло“, правило на решетката на Фибоначи и нов алгоритъм на Lattice Sequence с използване на CBC1 за конструиране на генериращия вектор). Числовите експерименти са проведени на българския суперкомпютър Discoverer. Те показват, че разглежданите стохастични алгоритми са доста ефективни за тази цел, особено за оценка на приноса на малки по стойност индекси на чувствителност.

**Table 1: Scalability of SA-DEM on the Bulgarian petascale supercomputer Discoverer**

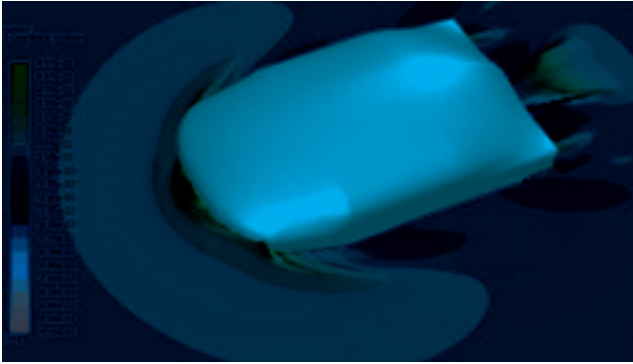
		Time T [sec.] , speed-up $Sp$ and total efficiency E [%] of SA-DEM on Discoverer (480 × 480 × 1) grid							
NP (MPI)	nodes	Advection		Chemistry		TOTAL			
		T [sec.]	$Sp$	T [sec.]	$Sp$	T [sec.]	$Sp$	E [%]	
10	1	72142	<b>10.0</b>	64726	<b>10.0</b>	146335	<b>10</b>	100 %	
20	2	36175	<b>19.9</b>	30027	<b>21.6</b>	71129	<b>21</b>	103 %	
40	3	18297	<b>39.4</b>	14295	<b>45.3</b>	36619	<b>40</b>	100 %	
80	5	9523	<b>75.8</b>	7839	<b>82.6</b>	20383	<b>72</b>	90 %	
160	10	4781	<b>150.9</b>	3925	<b>164</b>	11769	<b>124</b>	78 %	
320	20	2525	<b>285.7</b>	2037	<b>317</b>	6861	<b>213</b>	67 %	
640	40	1332	<b>541.7</b>	1034	<b>626</b>	4852	<b>302</b>	47 %	
960	60	1017	<b>709.7</b>	697	<b>929</b>	3472	<b>421</b>	44 %	
1600	100	787	<b>916.7</b>	463	<b>1398</b>	2822	<b>519</b>	32 %	

## Получени приложни резултати

1. *Получени приложни резултати при симулация на движение на тримаран в условия на многофазов поток*

За симулиране на движение на тримаран с определени размери се използва OpenFoam CFD софтуер версия 5.0, който включва специална библиотека (libwaves.so) за симулиране на вълни – <https://cfd.direct/openfoam/download>. Математическият модел, описващ непрекъснат поток на течност, е формулиран чрез уравненията на Навие – Стоукс. Решаването на тези уравнения се извършва чрез използване на метода на крайните елементи, а алгоритъмът за решаването им е вграден OpenFoam CFD софтуера. Геометрията на тримарана и съответният брой на клетките на мрежата се задават от изследователите. При различна геометрия корьбът се „държи“ различно в спокойни води и при на-

личие на многофазов поток (вятър/вълни). Мрежата се генерира чрез Cervical Vertebral Maturation (CVM) method. В нашия случай сме разгледали мрежа с общо 1 154 737 клетки. Фигурите показват някои моменти (скриншотове) при симулацията на вълната в CFD модела за тримарана (фиг. 1) и как изглежда взаимодействието на вълната с корпусите му (фиг. 2).



Фигура 1



Фигура 2

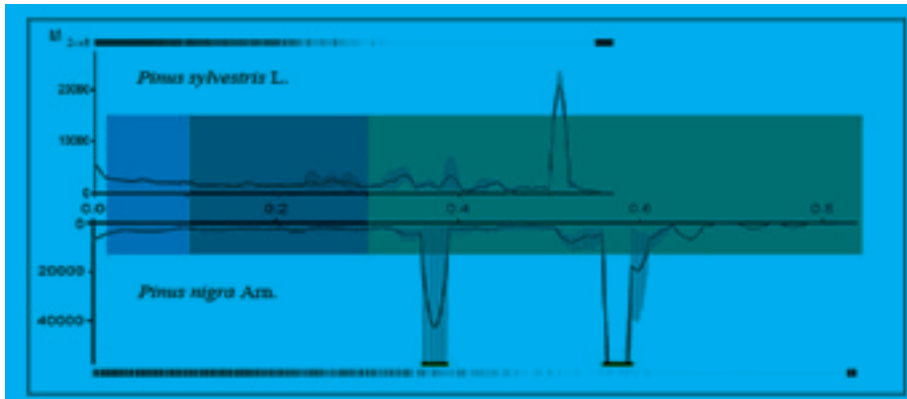
### Исторически миграционно моделиране на черен и бял бор в Европа

Получени са нови научно-приложни резултати за разпространение (а от тук и за управление) на черен и бял бор в различни европейски области на базата на два статистически модела: Maximum likelihood – Markov Chain Monte Carlo (ML-МСМС) (Метод на максимално правдоподобие) и Bayesian Statistics (Бейсова статистика). За симулациите е



използван Migrate-N софтуер, версии 3.7 и 4.5, <https://peterbeerli.com/migrate-html5/download.html>.

На фиг. 3 са показани резултати за миграционно моделиране на бял и черен бор:



Фигура 3. Резултати за миграционно моделиране на бял и черен бор

– миграционен модел от Балканския полуостров към Западна Русия (графиката отгоре);

– миграционен модел от Балканския полуостров до Крим (графиката отдолу);

– сиво оцветената лента около графиката е за 15 хиляди индивиди;

– хоризонталната цветна лента (бяло, синьо, жълто, оранжево) в средата на фигурата представлява геоложка решетка:

бял цвят – холоценова епоха (до 0,01 сканирани единици);

син цвят – плейстоценска епоха (между 0,01 и 0,1 сканирани единици);

жълт цвят – плиоценска епоха (между 0,1 и 0,3 сканирани единици) и

оранжев цвят – миоценска епоха ( $\geq 0,3$  сканирани единици).

Изследванията са за плейстоцена (кватернерен период) до 2,6 млн. Традиционно използваният третичен период включва плиоценската епоха (2.6 – 5.3Ma), миоценската епоха (5,3 – 23,0 Ma) и епохата на палеогена (23,0 – 65,5 Ma).

### **ГИС сървърно приложение, осигуряващо технологични и аналитични възможности за специализирани геоинформационни услуги (РП.П.1.5)**

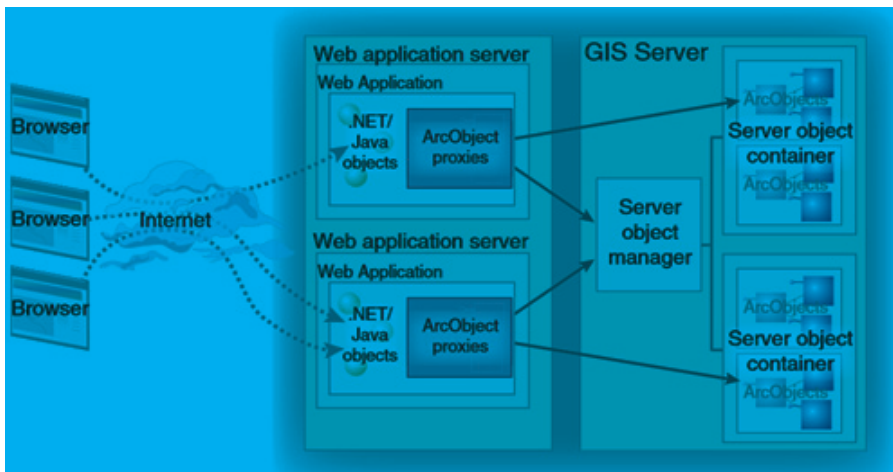
В рамките на този подпакет бяха включени дейности по проектиране и разработване на ГИС сървърно приложение с трислойна архитектура, което да поддържа стандартни и специализирани геопространствени услуги в съответствие с общоприетите стандарти и спецификации.

За основна платформа на сървърното ГИС приложение е избрана платформата ArcGIS Server. Това е основно обектен сървър, който управлява набор от GIS сървърни обекти. Тези сървърни обекти са софтуерни обекти (ArcObjects), които обслужват геоинформационни ресурси като интерактивна динамична карта или локатор. Сървърните обекти у като колекция от софтуерни обекти, съставляват основата на ArcGIS, като същевременно поддържат множество интерфейси за програмиране на приложения. Те включват COM, .NET, Java и C++. Тези API служат за изграждане на приложения, които използват функционалността на ArcObjects, които са в основата на всички продукти на ArcGIS: ArcGIS Desktop, ArcGIS Engine и ArcGIS Server.

В основата на ArcGIS Server е залегнала богата библиотека на ArcObjects, която може да се използва в уеб приложения и уеб услуги за предоставяне на усъвършенствана ГИС функционалност на широк кръг потребители, които взаимодействат със сървъра чрез уеббраузъри и други тънки клиентски приложения.

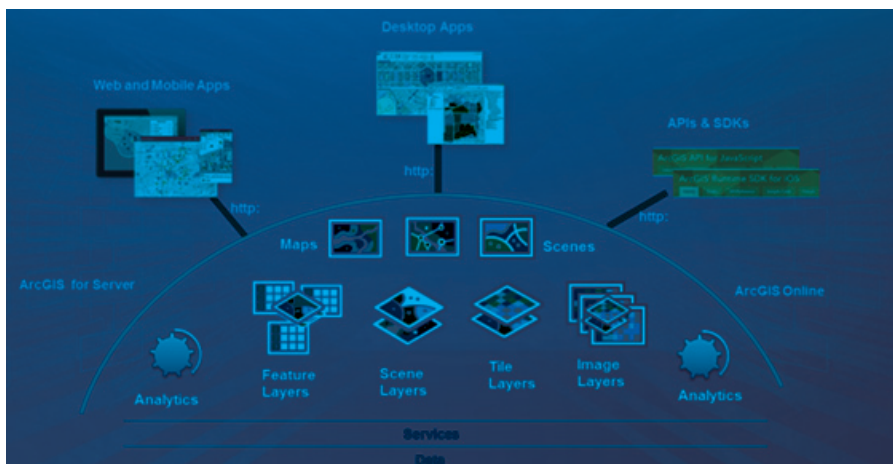
Уебприложенията, които се изпълняват в уебсървъра, използват технологията на разпределени обекти за комуникация с компонентите на ArcObjects, които, сами по себе си, са COM обекти, работещи в GIS сървъра през локална мрежа или широкообхватна мрежа (WAN). Технологията на разпределените обекти позволява на приложения, работещи в един процес, да използват COM обекти, които се изпълняват в друг процес, безпроблемно използвайки локална междупроцесна комуникация. Технологията на разпределените обекти също позволява на приложенията да използват COM обекти, работещи на други машини, като използват мрежови протоколи за осигуряване на комуникация между клиента и COM сървъра.

При организацията на сървърното приложение е използвана стандартна архитектура, която има следния най-общ вид (фиг. 6):



Фигура 6. Обща архитектура на приложението

Така създадената платформа поддържа интегриран геоинформационен модел, който обезпечава функционалността на ГИС платформата на научната програма. Тази платформа обслужва както потребители, които се свързват с платформата чрез настолни ГИС приложения, така и потребители, които работят с нея чрез стандартни уеб браузъри. Самата структура на платформата има следния най-общ вид (фиг. 7):



Фигура 7. Обща концептуална схема на платформата

За целите на програмата е създадено и ГИС хъб приложение, което може да се използва за споделяне на информационни ресурси в рамките на програмата. То се реализира на базата на ArcGIS Hub платформа, която е удобна за конфигуриране среда и позволява организирането на хора, данни и инструменти чрез информационни инициативи. Чрез нея се цели повишаване на ангажираността, комуникацията, сътрудничеството и споделянето на данни в рамките на цялата научна програма, като същата ще се базира на ГИС сървърните технологии.

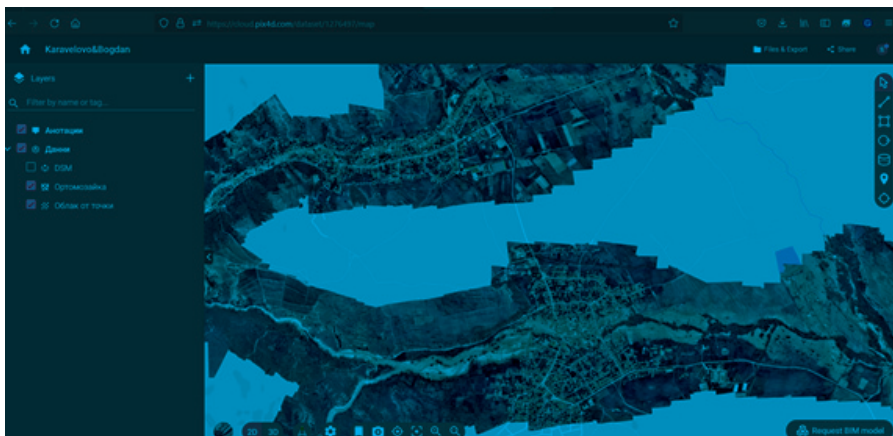
Разработеният ГИС хъб на програмата ще осигурява възможности за достъп до геоинформационни ресурси на външните потребители на принципа на „отворените данни“. Този достъп ще става чрез облачните услуги на ArcGIS online, както и непосредствено от ГИС сървъра на програмата.

Разработената платформа поддържа геопространствени услуги по съответните стандарти и спецификации на ISO, OGC и директивата INSPIRE: Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Transactional Web Feature Service (WFS-T), Web Coverage Service (WCS) и Web Processing Service (WPS).

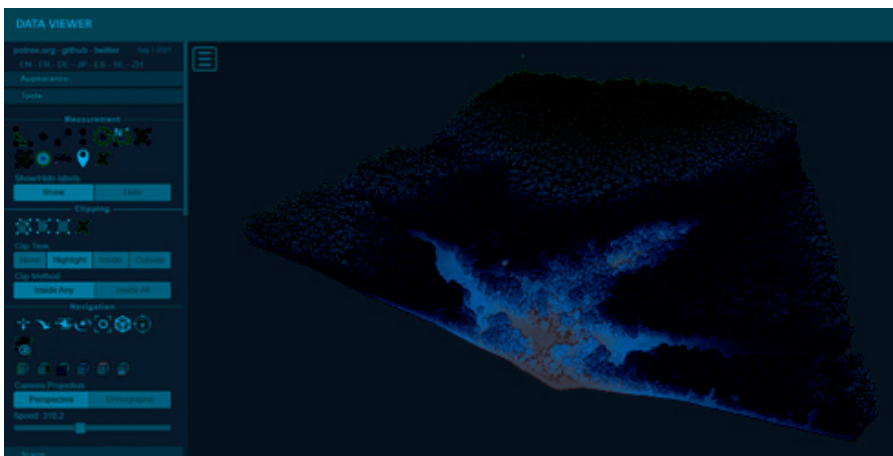
Във връзка с все по-интензивното използване на данни от безпилотни летателни системи (БЛС) бяха извършени някои допълнителни разработки към платформата.

– Беше осигурено облачно пространство, както и софтуерни инструменти за публикуване на данни от фотограметрични заснемания, базирани на Pix4D, протокола за тяхната обработка (фиг. 8).

– Втората съществена допълнителна разработка към платформата е свързана с добавянето на функционалност за работа с данни от въздушно-лазерно сканиране, базирана на функционалностите на софтуера Potree. Това е безплатен инструмент, базиран на WebGL, с отворен код за визуализиране на 3D облаци от точки във виртуална среда. Софтуерът е базиран на проекта TU Wien Scanopy и изследователските проекти Harvest4D, GCD Doctoral College and Superhumans. Инструментът е изключително полезен за работа с големи обеми от данни в 3D среда и е с удобен и лесен за използване интерфейс към него (фиг. 9).



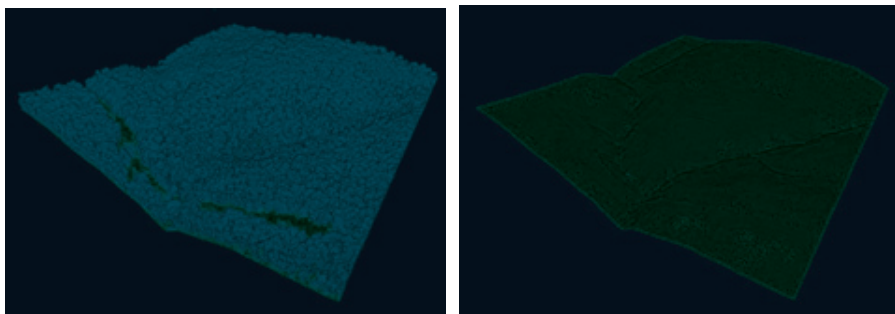
**Фигура 8.** Изглед от платформата за фотограметрични информационни ресурси с данни от наводнението в селата Каравелово и Богдан



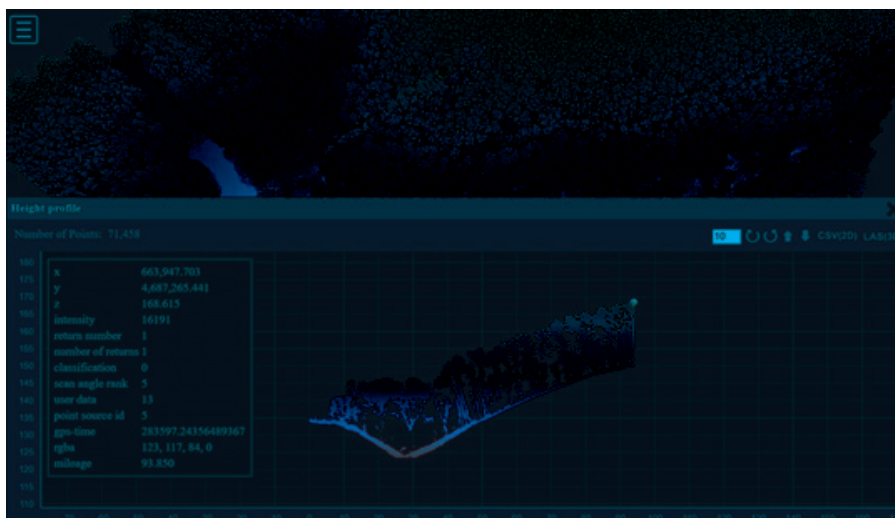
**Фигура 9.** Изглед от основния интерфейс на Potree

Potree се интегрира успешно с данните, събирани по дистанционен път с помощта на БЛС, снабдени с лазерни или фотограметрични сензори, каквито се използват активно в изследователския процес по проекта. Инструментът разполага с различни типове на визуализация (фиг. 10) в зависимост от нуждите на изследователя, като едновременно позволява интеграция на векторни пространствени данни към работния проект.

Potree се включва успешно в работата по проекта, спомага за много по-ясното представяне на събраните данни и естеството на изследваните процеси и явления, като дава възможност за по-подробни анализи на събраните по дистанционен път данни (фиг. 11). Функционалностите на инструмента спомагат също за по-лесното и бързо споделяне и разпространяване на събраните данни и получените резултати между изследователските екипи и заинтересованите страни по проекта.



**Фигура 10.** Възможност за визуализация на класифициран облак от точки (в кафяв цвят – 3D точки от терена; в сив цвят – 3D точки от повърхността и обектите над терена)



**Фигура 11.** Възможност за по-ясно представяне на данните с визуализация на напречен профил

## Ключови изследвания

### 1. Изследване, картографиране и оценка на ефекта на градския топлинен остров – градовете София и Бургас

**Екип:** доц. д-р Стелиян Димитров (ръководител), доц.д-р Биляна Борисова, гл.ас.д-р Стефан Петров, ас. Мартин Илиев, ас. Лидия Семерджиева, ас. д-р Иво Ихтимански

Една от основните задачи в рамките на работния пакет е свързана с изследването на ефекта на градския топлинен остров чрез използване на различни категории данни, генерирани чрез интегрираното приложение на съвременни геоинформационни технологични решения.

Урбанизираните територии са тези части от пространството, които са засегнати в най-голяма степен от дълбоки и всеотраслни трансформационни процеси, които превръщат естествените природни ландшафти в силно модифицирани природно-социални системи (изкуствени хабитати), които са наситени с антропогенни и изкуствени обекти и покрития. Те обуславят значителни отклонения и модификации на естествените природни процеси, което, от своя страна, засяга в значителна степен състоянието на градските екосистеми и екосистемните услуги, които те осигуряват за местното население и качеството му на живот.

Тези трансформационни процеси и тяхната пространствена проекция във формата на земно покритие и модели на земеползване засягат и факторите, които пряко формират особеностите и спецификата на местния климат и неговите основни елементи: температурни режими, валежи, изпарение, влажност, вятър, които, от своя страна, в значителна степен предопределят състоянието и комфорта на обитаемата среда. Необходимостта от установяването на тези компоненти на климата, както и тяхното влияние върху качеството на живот в урбанизираните територии, стоят в основата на дефинирането на понятието „градски климат“. Чрез него най-често се обозначава „силно модифициран локален климат на градските територии и индустриалните зони в сравнение със заобикалящите ги територии“<sup>7</sup>. Най-отчетливо проявлението на градския климат се наблюдават в приземните атмосферни слоеве и имат важно значение за условията на обитаване в рамките на урбанизираните територии и техните непосредствени околности.

---

<sup>7</sup> Schirmer, H. et al. 1987: Meyers Kleines Lexikon, Meteorologie, Meyers Lexikon Verlag, Mannheim



Формираните специфични температурни режими на повърхността и на приземния атмосферен слой в урбанизираните територии са една от променливите, които най-добре отличават и характеризират спецификата на градския климат. През годините научните изследвания са доказали, че в рамките на урбанизираните пространства се наблюдават устойчиво по-високи температури, което се определя като **ефект на градския топлинен остров (ГТО, Urban Heat Island – UHI)**. От времето на първото документирано изследване в тази област, проведено от Люк Хауърд в Лондон<sup>8</sup> в края на XIX в., това явление е изследвано в различни градове с различни размери и географско разположение<sup>9</sup>. По-високите температури на земната повърхност и на контактния с нея слой въздух допълнително топлинно натоварват градското население, като повишават температурния стрес, особено през летните месеци, което съществено се отразява на нивата на обща смъртност<sup>10</sup> на населението, както и на разходите за енергия за охлаждане и свързаните с това емисии на парникови газове<sup>11</sup>.

Все по-интензивната урбанизация, на която сме свидетели, в съчетание със задълбочаващите се климатични промени, ще доведат до интензифициране на проявата на негативни и рискови природни и климатични явления, включително по отношение на ефекта на ГТО по отношение на повишаването на риска за жителите на урбанизираните територии и влошаване на техния жизнен комфорт. Тези ефекти ще се проявяват особено силно в условията на продължителни топлинни вълни, което вече се наблюдава на редица места. Именно във връзка с тези повишени рискове и заплахи ефектите и проявлението на ГТО са във фокуса на изследователския интерес<sup>12</sup> през последните години, като

<sup>8</sup> Mills, G., 2008, Luke Howard and the climate of London Weather, vol. 63, no. 6, pp. 153 – 157.

<sup>9</sup> Zhou, B., D. Rybski, J.P. Kropp, 2017. The role of city size and urban form in the surface urban heat island, Sci. Rep., vol. 7, p. 4791.

<sup>10</sup> Constantinescu D., S. Cheval, G. Caracaş, A. Dumitrescu, 2016. Effective monitoring and warning of Urban Heat Island effect on the indoor thermal risk in Bucharest (Romania) Energ. Buildings, vol. 127, pp. 452 – 468.

<sup>11</sup> Y. Zhou, Q. Weng, K.R. Gurney, Y. Shuai, X., 2012. HuEstimation of the relationship between remotely sensed anthropogenic heat discharge and building energy use, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 67, pp. 65 – 72.

<sup>12</sup> M.J. McDonnell, I. MacGregor-Fors. 2016. The ecological future of cities Science, vol. 352, pp. 936 – 938.

немалка част от тези изследвания акцентират върху необходимостта от точна и коректна количествена и пространствена параметризация на неговия интензитет и факторите, които го определят. Познаването на генезиса и динамиката на ГТО може да допринесе за подобряване на процесите на градско планиране и за повишаване на ефективността на вземаните решения с цел подобряване условията на градската среда.

В основата на проявлението на тези ефекти са специфичните свойства на градските пространства, които се формират от съвременните общества, изразяващи се основно чрез „отлагането“ на перпендикулярни изкуствени конструкции и екстензивното и интензивно влагане на плътни изкуствени или синтезни материали с ниска пропускливост и висок топлинен капацитет. Тези модели на трансформация на естествените географски пространства променят морфологията на терена и формират различни по характер и генезис геодинамични и атмосферни процеси, които водят до формирането на характерни климатични режими с висока степен на пространствена изменчивост, съществено отличаващи се от термичните, хидростатичните и радиационните свойства на естествените покрития и геосистеми. Тази ситуация допълнително се усложнява от високата концентрация на атмосферни замърсители в градовете, както и от антропогенните топлинни емисии в градската атмосфера (включително вследствие засиленото изкуствено охлаждане), които също допринасят в синергичен порядък за формирането на изкуствено създадените по-топли урбанизирани пространства.

*Градският топлинен остров е сложен геопропространствен феномен, който се проявява както на микро- и локално ниво, така и на регионални нива в различни пространствено-времеви мащаби. ГТО включва най-малко три основни проявления: (1) в рамките на повърхността на урбанизираната територия и непосредствено под повърхностното покритие на града; (2) непосредствения атмосферен слой, обгръщащ града и включените в неговите предели сгради, техническа инфраструктура и население; и (3) формирания граничен район в околорадското пространство, оформен по посока на преобладаващото движение на въздушните маси (Oke 1976 <sup>13</sup>).*

На база тези характеристики на ГТО и сложността на неговата гене-

---

<sup>13</sup> T. Oke, 1976. The Distinction between Canopy and Boundary-Layers Heat Islands, Atmosphere, vol. 14, pp. 268 – 277.

тична, структурна и пространствена същност е определена и основната цел на настоящото изследване, която в голяма степен е предопределена и от наличните технологични инструменти за изследване. Тази цел се изразява в *разработването и прилагането на интегрирана методика за изследване, картографиране и оценка на проявлението на ефекта на градския топлинен остров в обхвата на урбанизираното пространство на градовете София и Бургас.*

За да бъде постигната формулираната цел на изследването са дефинирани следните главни задачи.

– Да се извърши обзорно картографиране на ефекта ГТО в рамките на София и Бургас и техния непосредствен хинтерланд чрез приложението на дистанционни методи и геопространствени данни, като се определят общите пространствени и количествени параметри на явлението ГТО.

– Да се определят основните параметри на вероятните климатични проекции, на чиято основа да се идентифицират очакваните климатични промени по сценариите RCP4.5 и RCP 8.5 и свързаните с тези промени тенденции на проявление на ГТО в рамките на урбанизираните територии на двата града.

– Да се направи локално климатично зонироване на урбанизираната територия по научно утвърдената и апробирана методика и схема, разработена от Stewart and Oke (2012<sup>14</sup>).

– Да се извърши подробна теренна верификация на интензивността на ефекта на ГТО в отделните класифицирани типове – „локални климатични зони (ЛКЗ)“, на чиято основа да бъде създаден пространствен модел на интензитета (магнитуда) на ГТО в рамките на урбанизираното пространство на Бургас.

– На основата на събраната емпирична информация да се конструират съответните показатели, които да позволят адекватно да се оценят проявлението и ефектите на ГТО.

– Получената базова информация и основни показатели да се интерпретират аналитично и да се формулират конкретни препоръки за смекчаване на тяхното проявление.

За целите на настоящото изследване е използвана вече апробирана

---

<sup>14</sup> Oke TR, Stewart I., 2012. Local climate zones for urban temperature studies. Bull. American Meteorological Society, vol. 93, pp. 1879 – 1900.

методология, разработена първоначално за целите на картографирането и оценката на ефектите на ГТО в София<sup>15</sup>, която е осъвременена на базата на въвеждането на допълнителни технологични инструменти. Тази осъвременена методология се основава на приложението на разнообразни изследователски методи, свързани както с измерването и изследването на конкретните променливи, така и с научнообоснована интерпретация на получените резултати. Тя е изцяло съобразена с основната цел на изследването и свързаните с нея конкретни изследователски задачи, чрез които следва да се осигури достоверна информация за проявата и интензивността на явлениято ГТО в рамките на урбанизираното пространство на Бургас. Тази информация, от своя страна, се явява от ключово значение за ефективното включване на проблемите, които това явление предизвиква в средата на обитаване на града, в процесите на планиране и управление на територията. С особена важност е количественото определяне на интензивността на ГТО, който е основен показател за характеризиране на ГТО и неговите пространствено-времени проявления<sup>16</sup>.

Тази методология е разработена на основата три основни групи подходи, които, от своя страна, са свързани с конкретни изследователски методи и аналитични техники:

– геопропространствен подход, който се основава на интегрираното приложение на геоинформационните технологии и геопропространствените изследователски методи, чрез които се изследва, анализира и интерпретира явлениято ГТО на повърхността в рамките на урбанизираното пространство;

– системен подход, свързан с комплексния характер на ГТО и синергичното влияние на взаимно свързаните фактори на градската среда, обуславящи пространствените и функционалните характеристики в различните части на града;

– поэтапен подход, който обуславя изпълнението на изследователския процес като логически и технологично свързани фази/етапи на изпълнение в хода на реализация на целия проект.

---

<sup>15</sup> Dimitrov, S.; Popov, A.; Iliev, M., 2021. An Application of the LCZ Approach in Surface Urban Heat Island Mapping in Sofia, Bulgaria. *Atmosphere*, vol. 12, p. 1370. <https://doi.org/10.3390/atmos12111370>.

<sup>16</sup> M. A. Rizwan, Y. C. L. Dennis, and L. Chunho, 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, *J. Environ. Sci.*, vol. 20, no. 1, pp. 120 – 128.

За да се идентифицират, картографират и оценят основните параметри на ГТО и да се характеризира в количествен и пространствен аспект това явление, настоящото изследване е проведено като интегриран изследователски проект, който включва последователното изпълнение на 4 работни фази.

### **Фаза 1. Обзорно картографиране на явлението ГТО**

То има за цел да представи пространствените измерения на явлението в рамките на частта от националното пространство, в която е разположена урбанизираната територия, обект на изследване. За целта са използвани данни от сателитната платформа Landsat 8, които включват термален канал (TIRS) със сравнително висока радиометрична способност, включваща 4096 цифрови стойности. Изображенията са подложени на комплексна процедура по обработка и интерпретация чрез прилагането на различни пространствено-аналитични и геостатистически методи. На тази основа са изведени и общите параметри на явлението ГТО, които позволяват ялната диференциация на неговото проявление в рамките на различните категории урбанизирани пространства и тяхната сравнимост с околните слабоурбанизирани територии и естествени ландшафти.

### **Фаза 2. Анализ на очакваните климатични промени в рамките на изследваната територия**

Акцентът в тази фаза е свързан с определяне на очакваните тенденции в изменението на климата, което е от съществено значение за определяне на цялостната политика на управление на града и неговото устройство. За целта са използвани данни от регионалния климатичен модел ALADIN 5.2, като причините за избора на модела са свързани както със сравнително високата му резолюция (12 x 12 км), така и с обстоятелството, че същият генерира симулационни данни за температура на земната повърхност, която е основен обект на настоящото изследване. Генерираната информация характеризира очакваните бъдещи изменения на основните климатични променливи (температура и валежи) за два сценария – RCP4.5 и RCP8.5, като хоризонтът на климатичната проекция е 2050 г.

### **Фаза 3. Климатично зонироване на територията, теренни изследвания и определяне на интензивността на ГТО**

Тази фаза включва три основни взаимосвързани изследователски задачи.

– Климатично зонироване на територията на града, основана на утвърдена в световната практика научнообоснована методика.

– Теренна верификация чрез термално фотограметрично заснемане на представителна част от територията на града в съответствие с пространствената конфигурация на определените локални климатични зони, които отчитат спецификата на проявление на явлението ГТО.

– Пространствена интерпретация на явлението ГТО и определяне на неговата интензивност за отделните части на града чрез използване на геостатистически методи за пространствена интерполация.

#### **Фаза 4. Пространствен анализ и интерпретация**

Тази фаза има обобщаващ характер и се основава на получените резултати от предходните изследователски фази и дейности. В нея са включени и обосновани предложения, които са заимствани от идентифицирани и анализирани добри практики, насочени към смекчаване на проявлението на ГТО, вкл. в контекста на очакваните климатични промени.

Така описаната методология схематично може да бъде представена в следния вид (фиг. 12).

### **1. КЛИМАТИЧНО ЗОНИРАНЕ, ТЕРЕННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ОЦЕНКА НА ИНТЕНЗИВНОСТТА НА ГТО**

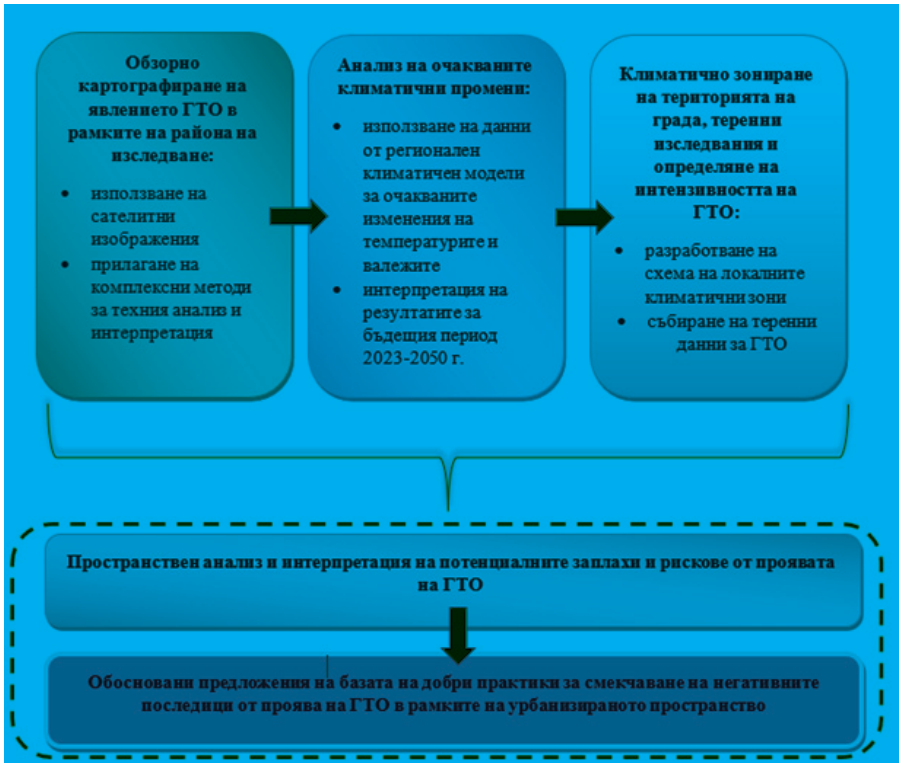
Тази фаза на изследването има за цел да осигури необходимата основа за генериране на достоверна информация за конкретните пространствени измерения и количествената параметризация на явлението ГТО. По-конкретно тази работна фаза включва следните основни групи дейности.

– Подробно изследване и климатично зонироване на територията на урбанизираното пространство, което да позволи типизиране на градската територия по отношение на връзката между структурата и особеностите на отделните урбанизирани единици в климатично отношение.

– Осъществяване на теренно изследване с цел определяне на конк-

ретните параметри на температурата на повърхността в различните локални климатични зони, обособени в пределите на града.

– Прилагане на геостатистически методи с цел оценка на проявление-то на явлението ГТО и определяне на неговата интензивност в различните части на урбанизираното пространство и локални климатични зони.



Фигура 12. Обща схема на методологията за изследване и картографиране на ГТО

### Климатично класифициране и зонироване на Бургас

Основен проблем при изследванията на градския климат е липсата на единна, световно призната класификация на урбанизираните територии по отношение на климатичните условия в тях. Всеки град е изложен на различни локални климатични фактори, което прави изследването



на градския топлинен остров сложно и специфично за всяко населено място.

Освен това съществува известна неяснота при използването на класификацията, разделяща територията на урбанизирани и неурбанизирани (извънградски). Терминът „урбанизиран“ често се използва като описателен за места като малки градове, големи градове, предградия, столични градове и мегаполиси. Както подчертава Bjelland<sup>17</sup>, в различните части на света понятията „урбанизиран“ и „неурбанизиран“ се тълкуват по различен начин. Липсата на унифицирана класификация прави изследванията за градските топлинни острови в различни краища на света изключително трудни за сравняване. Освен това много учени приемат различни подходи към изследването на този проблем, което прави трудно разбирането кой от факторите, контролиращи климата в урбанизирани територии, е по-важен в конкретен случай<sup>18</sup>. В допълнение, в гъсто населени региони като Азия социално-политическото и икономическото пространство, което разделя градовете и провинциите, вече не се разграничава като ясно изразена урбанизирана и неурбанизирана територия<sup>19</sup>. Това още повече усложнява класифицирането на територията на градски и неурбанизирани класове.

Една от основните цели на това проучване е да приложи новата климатична класификация за урбанизирани територии, представени чрез „локални климатични зони“ (ЛКЗ) за урбанизираното пространство на столицата, която се основава на предложената схема, разработена Оке и Stewart<sup>20</sup>. Тя успешно се прилага в различни като генезис и структура градски територии през последните години и постепенно се утвърди като водеща класификационна схема за такъв род изследвания. Тази схема, дефинирана като ЛКЗ, е нова и систематична класификация на

---

<sup>17</sup> Bjelland, M.D., Fellmann, J.D., Getis, A., Getis, J., 2010. Human geography: landscapes of human activities. 11th ed. New York: McGraw Hills.

<sup>18</sup> Kazunori, H., Srivani, M., 2011. The influence of urban morphology indicators on summer diurnal range of urban climate in Bangkok metropolitan area, Thailand. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, vol. 11, no. 5, pp. 34 – 46.

<sup>19</sup> Oke, T.R., 2012. Stewart I. Local climate zones for urban temperature studies. Bull. American Meteorological Society, vol. 93p pp. 1879 – 1900.

<sup>20</sup> Oke, T., Stewart, I., 2010. Thermal Differentiation of Local Climate Zones Using Temperature Observations from Urban and Rural Field Sites; Accessed 22 March 2014. Available: <https://ams.confex.com/ams/pdfapers/173127.pdf>.

териториални единици, която успешно се прилага и при изследванията на ГТО.

Класификацията разделя градските и извънградските ландшафти в 17 стандартни категории, като всяка от тях е определена на основата на синергичното отчитане на свойствата на застроената площ и земното покритие, влияещи върху температурата на въздуха и на земната повърхност. Оке и Stewart разработват ЛКЗ като лесно разбираема климатично базирана класификация на градски и извънградски обекти, което осигурява обективно сравнение на градските климати между различни градове чрез употребата на стандартни редовно събирани метеорологични данни. В тази нова рамка вместо приемането на интензитета на интраградските топлинни острови като разлика между температурите в градска среда и извънградска среда ( $\Delta T_{u-r}$ ), се използва показателят „интензитет на градския топлинен остров“, представляващ температурни разлики между всяка една ЛКЗ с всички останали локални климатични зони ( $\Delta TLCZ X-Y$ ). Така магнитудът (интензитетът) на ГТО е температурната разлика между местните климатични зони, вместо температурна разлика между градски и извънградски зони, като по този начин има по-малка вероятност от объркване, тъй като се набляга на преобладаващата повърхност и характеристиките на изследвания обект. За по-голяма яснота относно методиката за характеризирание и класифициране на ЛКЗ, представяме примерен модел, базиран на авторите на разработената класификация (Оке и Stewart 2014) (фиг. 13).

Наименование на локална климатична зона	№
---	---

Определение
-------------

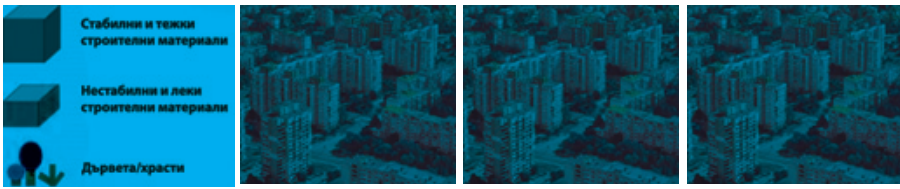
**Форма:** описание на геометрията на сградите; строителни материали; земно покритие; гъстота на дървесна растителност; човешка дейност.

**Функция:** земеползване в този тип зона.

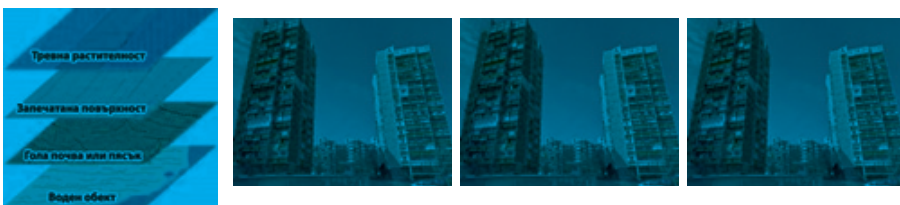
**Местоположение:** най-често позициониране на типа зона.

Пример
--------

Обекти	Представителни снимки с изглед под ъгъл
--------	---



Земно покритие	Представителни снимки с изглед от повърхността
----------------	--



*Представителна за зоната термална снимка на повърхността*



**Статистическа характеристика**

Локална климатична зона	Брой клетки	Площ (ха)	Площ (%)	Термално изследвани клетки	Минимална измерена средна температура на повърхността °С	Максимална измерена средна температура на повърхността °С	Средна температура на повърхността °С
Номер на климатичната зона по класификацията	Брой клетки, попадащи в тази зона (250 x 250 м) от всички клетки	(ха)	(%)	Избрани и изследвани представителни площи	°С	°С	°С

**Данни от изготвен специализиран статистически анализ на база събраните на терен данни**

Медиана	Стандартно отклонение	25 процентил	75 процентил	Асиметрия	Ексцес	Коефициент на вариация	Стандартна грешка
-	-	-	-	-	-	-	-

**Фигура 13.** Протокол, отразяващ етапите на работа за описания на ЛКЗ

Главните етапи на работа включват най-общо три изследователски процедури: 1) определяне на зоната, 2) илюстрация на зоната и 3) статистическа характеристика, получена чрез обработка на данните от теренните измервания. Всяка ЛКЗ има характерен температурен режим, който се проявява най-вече над сухи повърхности, в спокойни и тихи нощи и при терени с относително неразчленен релеф. Съществуват десет типа застроени площи (от LCZ 1 до LCZ 10) и седем типа (класа) земна повърхност (от LCZ A до LCZ G) (табл. 3), като в допълнение тези типове могат да имат сезонни или други по-кратки вариации на свойствата на земното покритие .

**Таблица 3.** Типове ЛКЗ според застрояването и типове ЛКЗ според земното покритие

Типове ЛКЗ според застрояването	Типове ЛКЗ според земното покритие
ЛКЗ 1 – Компактно високо застрояване	ЛКЗ А – Гъста дървесна растителност
ЛКЗ 2 – Компактно средновисоко застрояване	ЛКЗ В – Рядка дървесна растителност
ЛКЗ 3 – Компактно ниско застрояване	ЛКЗ С – Храстовидна растителност
ЛКЗ 4 – Високо застрояване с отворени пространства	ЛКЗ D – Ниска растителност
ЛКЗ 5 – Средновисоко застрояване с отворени пространства	ЛКЗ Е – Запечатани повърхности
ЛКЗ 6 – Ниско застрояване с отворени пространства	ЛКЗ F – Гола почва/пясък
ЛКЗ 7 – Нестабилно ниско застрояване	ЛКЗ G – Водни площи
ЛКЗ 8 – Широкоплощно ниско застрояване	
ЛКЗ 9 – Застрояване с ниска гъстота	
ЛКЗ 10 – Промислени зони	

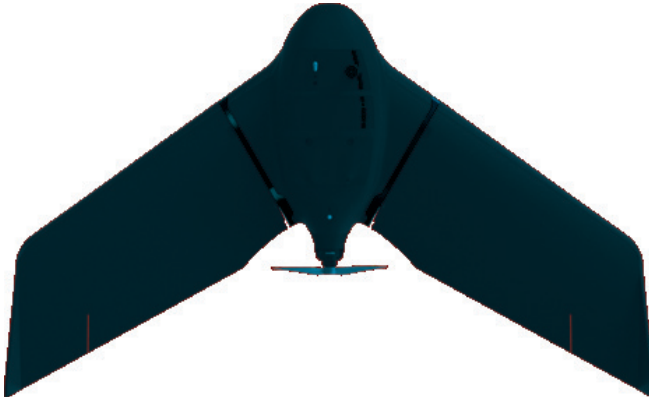
### Теренни изследвания

Теренните изследвания, които са предприети в рамките на настоящия проект, се базират на създадената класификационна схема на ЛКЗ за територията на Бургас, които са представени чрез обща схема от еднакви по размер и геометрия клетки, плътно покриващи територията на урбанизираното пространство. Те са с размер 100x100 м, като всяка индивидуална клетка покрива площ от 10 dka. При избора на представителни клетки беше приложена стратифицирана извадкова схема (Stratified sampling, STR), при която популацията (генералната съвкупност), включваща всичките 3299 клетки, първо се разделя на неприпокриващи се субпопулации (14-те класа ЛКЗ), наречени „страти“, и вземането на проби се извършва във всяка от стратите.

Самото измерване на температурата на земната повърхност в рамките на стратифицираната извадка е осъществено чрез използването на БЛС E-BeeX на швейцарската фирма Sensefly (фиг. 14):

Системата е фиксирано крило с възможност за използване на различни сензори, в състояние да покрие много по-големи територии (между 2 и 5 кв. км за час в зависимост от резолюцията и сензора, който се използва), като същевременно същото е съоръжено с RTK функционалност, което, от своя страна, позволява корекция на геореферирването

в реално време, без необходимост от използване на наземни контролни точки за постигане на висока позиционна точност (под 5 см).



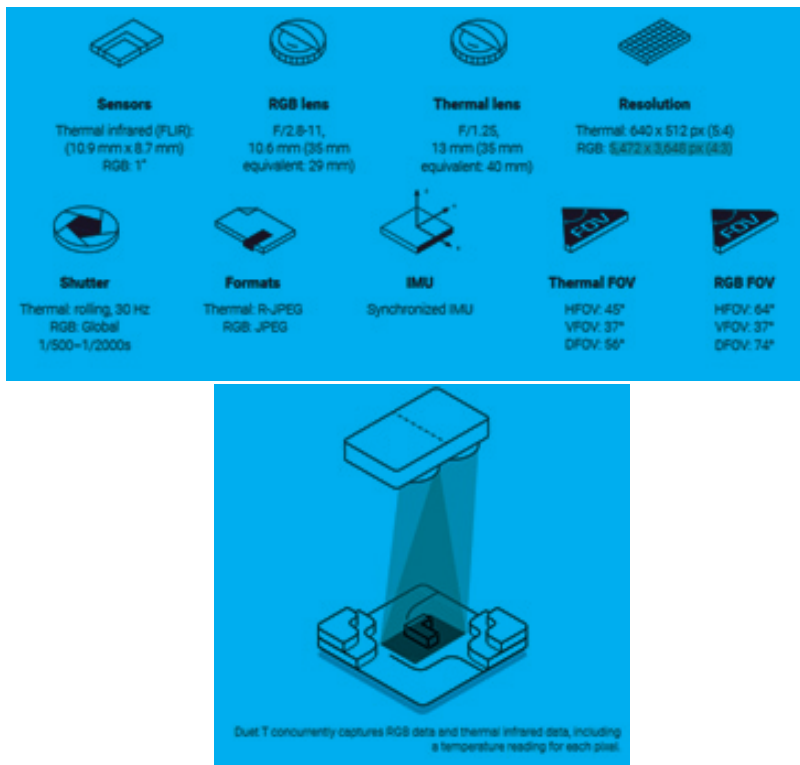
**Фигура 14.** Мултисензорна платформа тип „Летящо крило“ E-beeX

За целите на изследването е използван иновативен интегриран термален фотограметричен сензор DuetT (фиг. 15). Системата е снабдена с два синхронизирани и интегрирани сензора:

- термална инфрачервена камера (FLIR) с резолюция 640 x 512 px (5:4);
- фотограметрична камера S.O.D.A с резолюция 5,472 x 3,648 px (4:3).

Системата разполага със синхронизиран инерционен модул (IMU), който позволява едновременна ориентация, геореферирание и интеграция на пикселите от двата сензора. По този начин се получава термално орторектифицирано изображение, което позволява директно термално измерване на заснетите територии.





Фигура 15. Интегрирана термална фотограметрична камера DuetT

Като най-подходящ период на изследване температурата на земната повърхност са определени месеците юли и август, като теренните изследвания са проведени през месец юли 2022 г. Ефектът на ГТО е най-силно изразен във вечерните часове, непосредствено след активното слънчево греење. Според Оке<sup>21</sup> най-подходящото време за провеждане на тези проучвания е няколко часа след залез или преди изгрев при сравнителна безветреност и безоблачно небе. Това максимизира потенциала за диференциране на микро- и локални климатични разлики. В този интервал от денонощието различните типове земна повърхност

<sup>21</sup> Оке, TR. 2006. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, IOM Report, no. 81, WMO/TDNo.1250.



отдават топлинна енергия, без да са под пряко влияние на слънчевото греене. Тази отдадена топлинна енергия е различна за отделните повърхности в зависимост от много фактори като вид, цвят и плътност на материала, форма, изложение и др. Поради условията, при които най-ясно се откроява явлението, за измерване температурата всички площи на земната повърхност с помощта на БЛС е избран часовият интервал между 20:00 ч. и 22:00 ч. в момент след активно слънчево греене, при ясно небе и сравнително безветрие.

На база използвания сензор е получена термална карта за всяка от определените в представителната извадка клетки. Термалната карта е във формата на орторектифицирано термално изображение в растерен формат, като всяка клетка от растерното приложение има конкретна стойност, съответстваща на измерената температура (фиг. 16).

Средната температура е изчислена за всяка една клетка на база съчетанието в рамките на клетката от различните видове повърхности, групирани в 4 основни категории: 1. *Запечатани повърхности*; 2. *Сгради*; 3. *Растителност*; 4. *Водни обекти*. Всички тези стойности са необходими по-нататък при изчисляването на средната за всяка площ температура на земната повърхност.

### **Пространствена интерпретация и анализ на данните от теренни изследвания. Определяне на интензитета на ГТО**

За целите на настоящото изследване е извършен подробен пространствен анализ чрез използване на геостатистически и пространствено-интерполационни методи и техники. Като основа за това са използвани данните от измерените температури на земната повърхност в рамките на извадковото заснемане на ЛКЗ в урбанизираното пространство на Бургас. На основата на геостатистическото изследване са изведени конкретни регресионни зависимости, които, от своя страна, позволяват постигането на по-надеждни резултати от интерполацията на данните в ГИС среда и по-висока точност при определяне на пространствения обхват и конкретните проявления на ГТО в рамките на урбанизираното пространство.

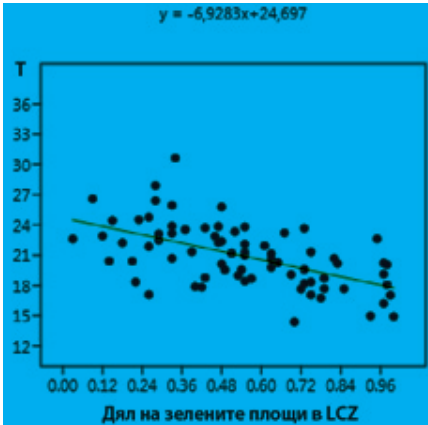
Получените резултати бяха използвани за построяване на линейни регресионни зависимости по метода на най-малките квадрати между площите на главните типове земеползване (като независима величина)

и средните измерени температури по типове земеползване (като зависи-ма величина). Генералните изводи потвърждават хипотезата, че колкото по-голям е делът на зелените площи, толкова по-ниски са измерени-те температурни стойности, и обратно – колкото по-голям е делът на застроените и запечатаните пространства, толкова по-високи са изме-рените температури.



Фигура 16. Термално орторектифицирано изображение на района на обществения паркинг на ул. „Гурко“ (Бургас)

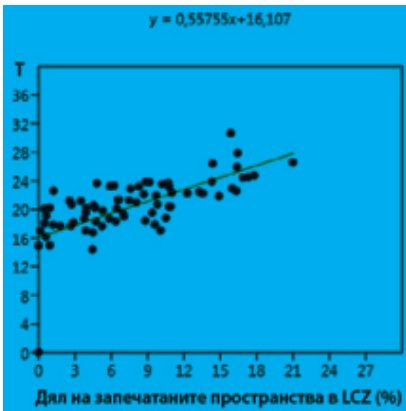
1. С увеличаване дела на зелените площи в ЛКЗ има ясна тенденция за понижениe на температурата на повърхността в интервала 20 – 22 часа (фиг. 17).



Ordinary Least Squares Regression:  
 $y = -6,9283x + 24,697$   
 Slope a:  $-6,9283$  Std. error a:  $1,1857$   
 Intercept b:  $24,697$  Std. error b:  $0,70924$   
 95% bootstrapped confidence intervals (N=1999)  
 Slope a:  $(-9,2669, -4,6192)$   
 Intercept b:  $(23,187, 26,098)$   
 Correlation:  
 r:  $-$   
 $0,56717$   
 $r^2$ :  $0,32168$

Фигура 17. Лейнена регресионна зависимост между зелените площи и температурата на земната повърхност

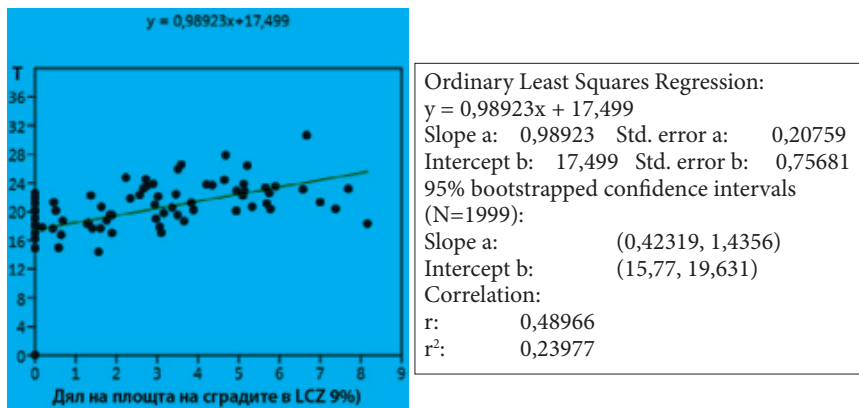
2. С увеличаване на дела на запечатаните площи има силно изразена тенденция за повишениe на температурата на повърхността в интервала 20 – 22 часа (фиг. 18):



Ordinary Least Squares Regression:  
 $y = 0,55755x + 16,107$   
 Slope a:  $0,55755$  Std. error a:  $0,078049$   
 Intercept b:  $16,107$  Std. error b:  $0,72012$   
 95% bootstrapped confidence intervals (N=1999):  
 Slope a:  $(0,35115, 0,72284)$   
 Intercept b:  $(14,302, 18,286)$   
 Correlation:  
 r:  $0,64403$   
 $r^2$ :  $0,41478$

Фигура 18. Лейнена регресионна зависимост между запечатаните площи и температурата на земната повърхност

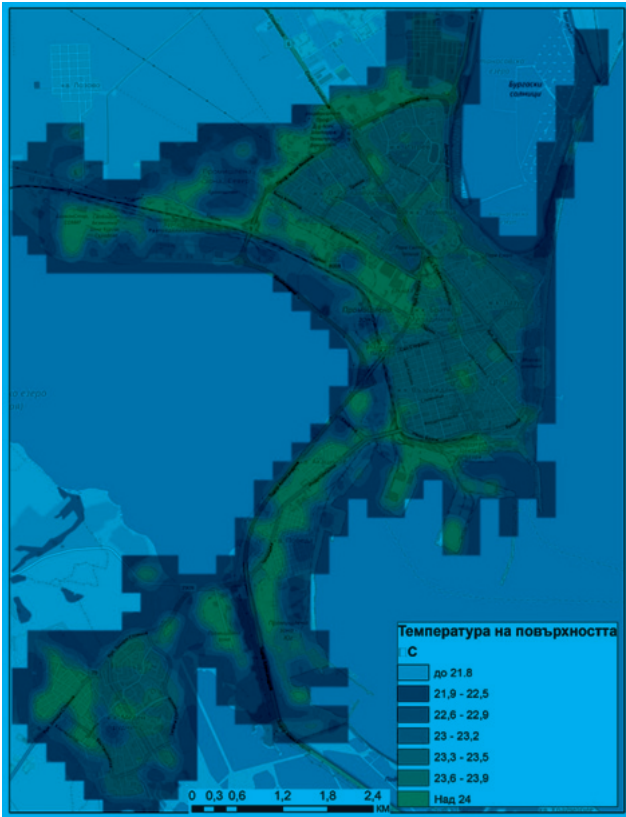
3. С увеличаване на дела на сградите (плътността на застрояване) в ЛКЗ има изразена тенденция към повишение на температурата на повърхността в интервала 20 – 22 часа (фиг. 19).



Фигура 19. Лейнейна регресионна зависимост между площта на сградите и температурата на земната повърхност

На база на така изведените регресионни зависимости и на основата на пространственото разпределение на измерените локации от стратифицираната извадка е конструиран геостатистически интерполационен модел, на чиято основа е генериран слой с пространственото разпределение на температурите на повърхността в часовия интервал 20 – 22 часа за м. юли 2022 г. За създаването на слоя са приложени детерминистичен подход и локална интерполация, при които предиктивните стойности се генерират в рамките на локалитетни групи от съседни точки, базирани на мрежата от измерени стойности и техните локации.

Резултатът от пространствената интерполация ясно показва, че в рамките на урбанизираното пространство в Бургас е формиран полиструктурен (полицентричен) ГТО (фиг. 20).



**Фигура 20.** Карта на пространственото разпределение на измерените температурни стойности на земната повърхност в Бургас през юли 2022 г. (в часовия интервал 20:00 – 22:00 часа)

С най-висока средна измерена температура на земната повърхност се отличават териториите с гъсто (компактно) застрояване, без наличие на отворени зелени пространства, както и в територии, заети със складови, търговски и производствени сгради, съчетани с обширни запечатани пространства – това са терени в кв. „Меден рудник“, както и индустриалните зони на града. Обширна зона със сериозен термален товар се наблюдава и в многофункционалната търговско-складова и бизнес зона, тангираща югозападно с кв. „Славейков“ и парк „Света Троица“.

Поради особеностите на урбанистичната структура на Бургас и дефицита на отворени пространства в централната част също е формиран значителен по размери топлинен остров, който включва компактна територия, разположена между основните паркове и водни площи, заобикалящи урбанизираната територия на града.

Голямото разнообразие на включените територии в отделните ЛКЗ, както и високата изменчивост на пространствената им структура определят в голяма степен сложния и полиструктурен характер на явленията ГТО.

Тези температурни разлики в най-голяма степен характеризират сложността на ГТО и представят една най-важните му характеристики – интензитета (магнитуда) на явленията. Интензитетът на ГТО за всяка ЛКЗ обективно характеризира силата на проява на ГТО в пространствен аспект. Интензитетът се изчислява по следния начин:

$$\Delta T_{LCZ\ X-Y},$$

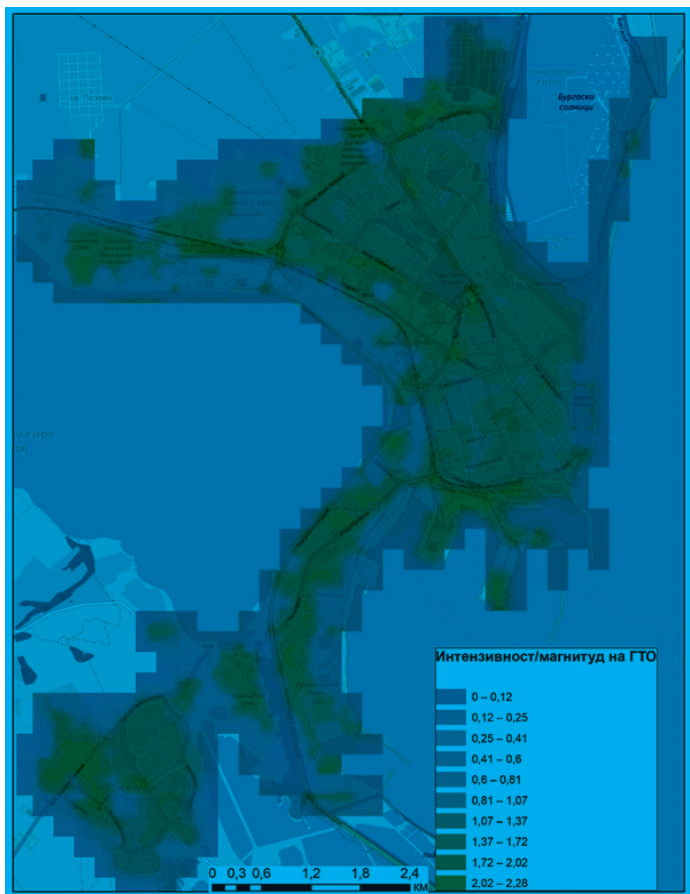
където  $\Delta T$  е максималната разлика от израза ЛКЗ X – Y, в който X = температурата на дадената ЛКЗ, а е Y = температурата на останалите ЛКЗ за сравнение. Данните за разликите в температурите между всички ЛКЗ в Бургас са представени в табл. 4.

На база данните от матрицата в таблицата е създадена статистическа повърхнина чрез използване на локална полиномна интерполация, която представя в континуален вид интензитета на ГТО в урбанизираното пространство на Бургас (фиг. 21).

ЛКЗ	ЛКЗ 3	ЛКЗ 4	ЛКЗ 5	ЛКЗ 6	ЛКЗ 8	ЛКЗ 9	ЛКЗ 10	ЛКЗ А	ЛКЗ В	ЛКЗ С	ЛКЗ D	ЛКЗ E	ЛКЗ G
ЛКЗ 3	22.41	-1.19	-0.97	-1.70	-1.51	-0.52	-0.12	0.12	-0.98	0.30	0.39	-1.89	-0.40
ЛКЗ 4	21.60	0.00	0.22	-0.51	-0.32	0.67	1.08	1.31	0.21	1.50	1.58	-1.89	0.80
ЛКЗ 5	23.36	-0.22	0.00	-0.73	-0.53	0.46	0.86	1.10	-0.01	1.28	1.37	-0.91	0.88
ЛКЗ 6	24.12	1.70	0.51	0.73	0.00	1.19	1.59	1.83	0.72	2.01	2.10	-0.18	1.31
ЛКЗ 8	23.92	1.51	0.32	0.53	-0.20	0.00	0.99	1.39	1.63	0.52	1.81	1.90	-0.38
ЛКЗ 9	22.93	0.52	-0.67	-0.46	-1.19	-0.99	0.00	0.40	0.64	-0.47	0.82	0.91	-1.37
ЛКЗ 10	22.53	-1.08	-1.08	-0.86	-1.59	-1.39	-0.40	0.00	0.24	-0.87	0.42	0.51	-1.77
ЛКЗ А	22.29	-0.12	-1.31	-1.10	-1.83	-1.63	-0.64	-0.24	0.00	-1.10	0.18	0.27	-2.01
ЛКЗ В	23.36	0.98	-0.21	0.01	-0.72	-0.52	0.47	0.87	1.10	0.00	1.29	1.38	-0.90
ЛКЗ С	22.11	-0.30	-1.50	-1.28	-2.01	-1.81	-0.82	-0.42	-0.18	0.00	0.09	-2.19	-0.70
ЛКЗ D	22.02	-0.39	-1.53	-1.37	-2.10	-1.90	-0.91	-0.51	-0.27	-1.38	-0.09	0.00	-2.28
ЛКЗ E	24.30	1.89	0.70	0.91	0.18	0.38	1.37	1.77	2.01	0.90	2.19	2.28	1.49
ЛКЗ G	22.81	0.40	-0.80	-0.58	-1.31	-1.11	-0.12	0.28	-0.59	0.70	0.79	-1.49	0.00

Таблица 4. Температурни разлики между ЛКЗ, необходими за изчисление и картографиране на интензитета на ГТО





Фигура 21. Карта на средния интензитет на ГТО в Бургас (20:00 – 22:00 ч.)

## ОЦЕНКА НА УЯЗВИМОСТТА, ЗАПЛАХИТЕ И РИСКА ОТ ЯВЛЕНИЕТО „ГРАДСКИ ТОПЛИНЕН ОСТРОВ“

Градският топлинен остров има пряко влияние върху средата и качеството на живот, като има различни проявления в зависимост от конкретните условия и пространствени съчетания на фактори, които могат да засилят или смекчат неговото въздействие.

Аналитичният материал, приложен в настоящия доклад, ясно насочва вниманието към три отличителни характеристики на ефекта на ГТО.

1. Ефектът се проявява с постоянство в рамките на денонощието – както през деня, така и през нощта.

2. Пиковата интензивност на ефекта се проявява през лятото и в рамките на светлата част на деня.

3. Има индиректно, но значително влияние върху нагриването на въздуха – генерира кумулативен ефект от допълнително нагриване на приземния въздух и подхранва ефекта на ГТО в атмосферата.

Устойчивата проява като честота и магнитуд на ефекта на ГТО от нагриване на повърхността води до трайни негативни въздействия върху екологичните условия в градската среда и нарастваща уязвимост по отношение на ключови аспекти от функционирането на урбанизираната територия. Най-общо те могат да бъдат систематизирани по следния начин:

– **социални** предизвикателства: увеличаване риска за здравето на населението и особено на най-уязвимите групи сред тях – деца, възрастни, хронично болни; нарастване на опасността от заболявания; нарастване на социални неравенства, производни на диференцирания достъп до поддържани елементи на зелената инфраструктура на града (паркови пространства, водни обекти и места за отдих);

– **икономически** предизвикателства: натиск върху ресурсите – нарастване на нуждата и потреблението от питейна вода с добро качество и увеличение на консумацията на енергия за охлаждане; нарастване на разходите за поддържане на водоснабдителната, енергийната и транспортната система на града; увеличаване на разходите в сферата на строително-ремонтните и обслужващите дейности;

– **екологични** предизвикателства: влошаване качеството на въздуха и на водите; уязвимост на почвите в градска среда – потиснат воден и хранителен режим; неблагоприятни условия за зелената система на града и възникване на условия за заболявания на дървесните видове; опасност от настаняването на инвазивни видове – вредители в конкретните за района на Бургас географски и екологични условия.

За целите на настоящото изследване е създаден пространствен оценъчен модел, който комбинира интензивността на проявата на ГТО в различните части на урбанизираното пространство на Бургас и разпределението на населението. За тази цел е извършена z-трансформация на

температурните стойности, както е и генерираната карта въз основа на тази трансформация, показващи пространственото разпределение на различните степени на топлинно натоварване в Бургас. Тази аналитична техника позволява по-ефективно и ясно предствяне на построения регресионен модел, разкриващ връзката между основните типове земно покритие и измерените температури в тях. Данните за LST са използвани за предварителната оценка на топлинния товар в рамките на урбанизираното пространство. Той може да бъде категоризиран в четири етапа (благоприятни, средно благоприятни, сравнително неблагоприятни и неблагоприятни) въз основа на стандартизираните температурни стойности от прилаганите z-трансформация по следната формула:

$$z = (X - \mu) / \sigma$$

където:

X е средната температура на дадена клетка (ЛКЗ);

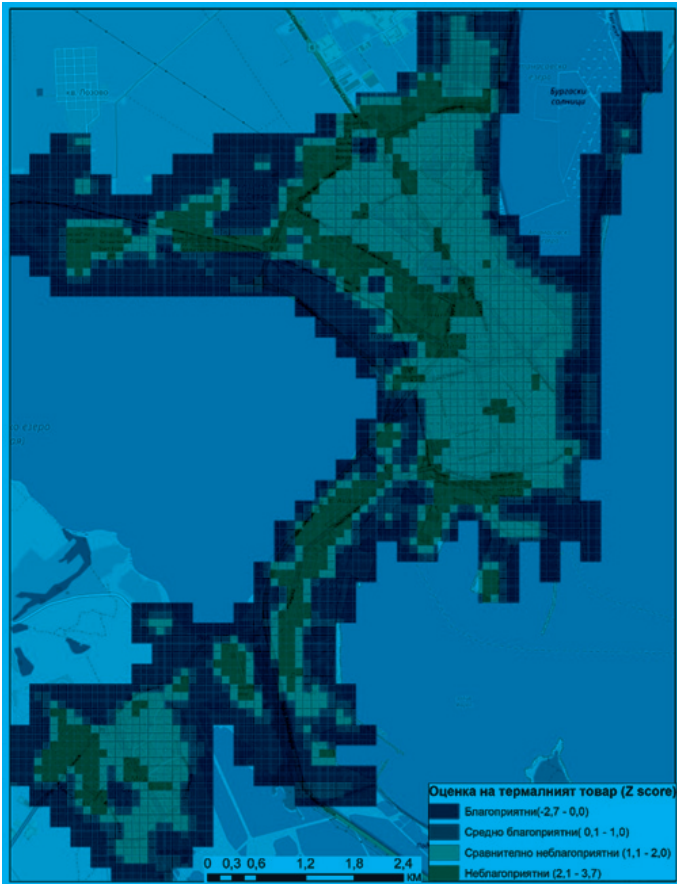
$\mu$  – средна температура на всички клетки;

$\sigma$  – стандартното отклонение на температурата на повърхността на всички клетки (ЛКЗ).

На фиг. 22 ясно се вижда пространственото разпределение на 4-те категории територии в рамките на урбанизираното пространство на града.

От картата ясно се вижда, че най-уязвимите части от градското пространство са териториите, в които е налице голяма концентрация на население в комбинация с комплексен начин на застрояване. Последният предполага значителен дял на високите сгради, сравнително гъсто разположение с малки и недобре структурирани зелени пространства. В тези части са налице значителни площи от запечатани територии, които сериозно влияят на градския климат и влошават качеството на живот и условията на средата. Също така ясно се вижда, че вследствие на особеностите на урбанизираното пространство на Бургас централната част, както и териториите с компактно гъсто и ниско застрояване също са в значителна степен уязвими към проявление на ефектите на ГТО. По-конкретно с най-висока степен на уязвимост са:

– частта на ж.к. „Меден рудник“ с компактно застрояване и в по-малка степен териториите с комплексно застрояване;



**Фигура 22.** Класификация на територията на Бургас по степен на уязвимост от ефекта на ГТО

- централните части на града, които се отличават с много гъсто застроени територии без значителни зелени площи и с доста запечатани територии;
- Северната промишлена зона заедно с обособената многофункционална зона южно от ж.к. „Славейков“, която е със значителни запечатани пространства;
- компактната зона, формирана от части, принадлежащи към Южната промишлена зона и кв. „Акациите“, вследствие на компактното и плътно

застрояване, както и липсата на качествена зелена инфраструктура;

– северозападната периферия на града, която е многофункционална зона с множество големи запечатани територии;

– други по-малки зони, формирани в рамките на гъсто застроени територии, с компактно население.

Съответно с най-ниска степен на уязвимост са териториите, разположени непосредствено около големите паркови зони, както и тези, които „контактуват“ с водните площи и територии с по-ниско застрояване и с по-големи открити естествени пространства.

### Литература

- Bjelland, M.D., Fellmann, J.D., Getis, A., Getis, J., 2010. Human geography: landscapes of human activities. 11th ed. New York: McGraw Hills.
- Constantinescu, D., S. Cheval, G. Caracaş, A. Dumitrescu, 2016. Effective monitoring and warning of Urban Heat Island effect on the indoor thermal risk in Bucharest (Romania) *Energ. Buildings*, vol. 127, pp. 452 – 468.
- Dimitrov, S.; Popov, A.; Iliev, M., 2021. An Application of the LCZ Approach in Surface Urban Heat Island Mapping in Sofia, Bulgaria. *Atmosphere*, vol. 12, p. 1370. <https://doi.org/10.3390/atmos12111370>.
- Gal, T., Lelovics, E., Unger, J. 2013. A vector-base GIS method for mapping of Local Climate Zones and its application in a Central-European city. International conference “Two hundred years of urban meteorology in the heart of Florence: International conference on urban climate and history of Meteorology”, Florence, pp. 25 – 26.
- Kazunori, H., Srivani, t M., 2011. The influence of urban morphology indicators on summer diurnal range of urban climate in Bangkok metropolitan area, Thailand. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, vol. 11, no. 5, pp. 34 – 46.
- M.J. McDonnell, I. MacGregor-Fors, 2016. The ecological future of cities *Science*, vol. 352, pp. 936 – 938=
- Meehl, G., A. C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. J. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, K. E. Taylor, 2007. The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 88, pp. 1383 – 1394.

- Mills, G., Luke, 2008. Howard and the climate of London Weather, vol. 63, no. 6, pp. 153 – 157.
- Oke, T., 1976. The Distinction between Canopy and Boundary-Layers Heat Islands, Atmosphere, vol. 14, pp. 268 – 277.
- Oke, T.R., 2006. Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, IOM Report No. 81, WMO/TDNo.1250.
- Oke, T.R., Stewart, I., 2012. Local climate zones for urban temperature studies. Bull. American Meteorological Society, vol. 93, pp. 1879 – 1900.
- Oke, T., Stewart, I., 2010. Thermal Differentiation of Local Climate Zones Using Temperature Observations from Urban and Rural Field Site. Accessed 22 March 2014. Available:<https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/173127.pdf>.
- Rizwan, M.A., Y. C. L. Dennis, and L. Chunho, 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, J. Environ. Sci., vol. 20, no. 1, pp. 120 – 128.
- Schirmer, H. et al. 1987: Meyers Kleines Lexikon, Meteorologie, Meyers Lexikon Verlag, Mannheim.
- Y. Zhou, Q. Weng, K.R. Gurney, Y. Shuai, X., 2012. HuEstimation of the relationship between remotely sensed anthropogenic heat discharge and building energy use, ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 67, pp. 65 – 72.
- Zhou, B., D. Rybski, J.P. Kropp, 2017. The role of city size and urban form in the surface urban heat island, Sci. Rep., vol. 7, p. 4791.
- Проект Med-CORDEX ([www.medcordex.eu/](http://www.medcordex.eu/))
- CMIP3, CMIP5, достъпни на адрес <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>  
<http://mistrals.sedoo.fr/HyMeX/Platform-search/?datsType=2>

## ПУБЛИЧНО ПРЕДСТАВЯНЕ И КОМУНИКАЦИЯ НА ПОЛУЧЕНИТЕ НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ В ОБЩЕСТВОТО (ПОЕТАПНО И СЛЕД КРАЯ НА ПРОГРАМАТА)

**проф. Боян Кулов**

*Институт за изследвания на климата, атмосферата и водите –  
Българска академия на науките*

**доц. Велимира Стоянова**

*Национален институт по геофизика, геодезия и география –  
Българска академия на науките*

**доц. Николай Рачев**

*Физически факултет -  
Софийски университет „Свети Климент Охридски“*

**доц. Биляна Борисова**

*Геолого-географски факултет -  
Софийски университет „Свети Климент Охридски“*

### **Основни цели и задачи, обекти на изследване**

#### ***Цел и задачи***

Основната цел на работен пакет П.3 е публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото. Публичното представяне и ефикасната комуникация на получените научни резултати е от решаващо значение за успеха на всяка научна програма. Основната цел на работния пакет налага неговата „хоризонталност“, в смисъл на тясна обвързаност с всички останали работни пакети (РП). Тази цел има обаче особена обществена актуалност, когато става въпрос за изследвания, които пряко касаят околната среда, нейното опазване и рисковете от неблагоприятни явления и природни бедствия, тъй като те определят качеството на живот на населението и то, не само на настоящото, но и на бъдещите поколения. Проявата на редица екологични проблеми в средата на ХХ век и наблюдаваното увеличаване на загубите при неблагоприятни природни явления в глобален мащаб са в основата



на приемането на редица политики за опазване на околната среда (Renar, 2005; Железов, 2014; Prasad, Francescutti, 2017; Стоянова и Коцев, 2020; Stoyanova et al., 2020; Koulov et al., 2021). През 1972 г. е публикуван Първия доклад на Римския клуб за замърсяване на околната среда и възможната гибел на човечеството от парниковия ефект в резултат на големи емисии на въглероден диоксид в атмосферата. През същата година в Стокхолм, Швеция е проведена първата конференция на Организацията на обединените нации (ООН) по проблемите на околната среда и 16 юни е приет първият международен договор за екологични защита на Земята - Декларацията за околна среда и създаването на програма на ООН за околна среда (United Nations Environment Programme - UNEP). През октомври 1972 г. в Париж (Франция) от Европейския съвет е създадена и първата европейска политика в областта на околната среда, която да е в основата на икономическото развитие на страните. От 1973 г., 5 юни се отбелязва като Световен ден на околната среда (Министерство на околната среда и водите). През 1987 г. е въведен в Единния европейски акт, нов раздел „Околна среда“ чрез който да се осигури правно основание за обща политика в областта на околната среда с цел да се запази качеството на околната среда, да се защитава човешкото здраве и да се гарантира рационално използване на природните ресурси. В периода между 3 и 14 юни 1992 г. в Рио де Жанейро (Бразилия) се провежда конференция по околна среда и развитие на ООН, на която се потвърждава декларацията от Стокхолм и се поставят основите на много международни споразумения: „Програма 21“ (Agenda 21) - план за действие за устойчиво развитие; Декларацията от Рио за околната среда и развитието; Декларацията на принципите за управление на горите и горското стопанство; Рамковата конвенция на ООН за изменение на климата - РКООНИК (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC); Конвенцията за биологичното разнообразие (Convention on Biological Diversity - CBD), за борба срещу опустиняването (United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought – UNCCD) и др. Околната среда е официална област на политиката на ЕС от 1993 г. с договора подписан в Маастрихт (Нидерландия). През 1999 г. с договора от Амстердам (Нидерландия) е въведено задължението опазването на околната среда да се интегрира във всички секторни политики на ЕС с цел насърчаване на устойчиво развитие. В Конституцията на Република България от 1991 г.

е посочено, че трябва да се опазва околната среда за сегашните и бъдещите поколения; да се съхранява биологичното разнообразие в съответствие с природната биогеографска характеристика на страната; да се осъществява контрол и управление върху състоянието на околната среда и източниците на замърсяване и др. Днес световната политика в областта на околна среда се основава на принципа на предпазните мерки, превантивните действия и отстраняване на замърсяването при източника, както и на принципа „замърсителят плаща“. Основни теми в политиката на околната среда са: борбата с изменението на климата; биологичното разнообразие, земеползването и горското стопанство; опазването и управлението на водите; замърсяването на въздуха и шумовото замърсяване; ефективното използване на ресурсите и кръговата икономика (повторно използване на ресурсите – доколкото това е възможно и намаляване на остатъчните отпадъци почти до нула, чрез разработването и осигуряването на достъп до новаторски финансови инструменти и финансиране за екоиновации), устойчивото потребление и производство; химичните вещества и пестициди. Многогодишните програми за действие за околната среда определят рамката на бъдещите действия във всички сфери на политиката в областта на околната среда. Те са част от хоризонталните стратегии и се вземат под внимание в рамките на международните преговори във връзка с околната среда. Политиката в областта на околната среда от неотдавна заема централно място при изготвянето на политиките на ЕС. Като основен двигател на своята стратегия за икономически растеж, Европейската комисия започна изпълнението на Европейския зелен пакт през декември 2019 г., който следва да помогне за съсредоточаване на политиките на ЕС върху превръщането на Европа в първия неутрален по отношение на климата континент в света. В края на 2020 г. Европейската комисия представи предложението си за Осмата програма за действие за околната среда, която следва да се изпълнява от 2021 до 2030 г. С предложението се подкрепят целите на Европейския зелен пакт в областта на околната среда и климата. Въз основа на него, в предложението се определени следните шест приоритетни цели: постигане на целта за намаляване на емисиите на парникови газове до 2030 г. и на неутралност по отношение на климата до 2050 г.; повишаване на капацитета за адаптиране, укрепване на устойчивостта и намаляване на уязвимостта към изменението на климата; постигане на напредък към модел на растеж с възстановяване,

отделяне на икономическия растеж от използването на ресурси и влошаването на състоянието на околната среда и ускоряване на прехода към кръгова икономика; преследване на амбицията за нулево замърсяване, включително за въздуха, водата и почвата, както и за защита на здравето и благосъстоянието на европейските граждани; защита, опазване и възстановяване на биологичното разнообразие и увеличаване на природния капитал, по-специално по отношение на въздуха, водата, почвите и горите, прясната вода, влажните зони и морските екосистеми; намаляване на натиска върху околната среда и климата, свързан с производството и потреблението (по-специално в областта на енергетиката, промишленото развитие, сградите и инфраструктурата, мобилността и продоволствената система) (Осма програма за действие за околната среда). Темата за опазване на околната среда в последните години е много актуална и в България. На 25 Септември 2002 г. е обнародван в ДВ. бр. 91- Закона за опазване на околната среда в България. Влезли са в сила и много закони за отделните природни компоненти: в началото на 2000 г. влиза в сила Закона за водите (обн. ДВ. бр.67 от 27 юли 1999 г.), през август 2002 г. Закона за биологичното разнообразие (обн. ДВ. Бр. 77 от 9 август 2002 г., а през ноември 2007 г. влиза в сила Закона за почвите (обн. ДВ. бр. 89 от 6 ноември 2007 г.). След приемането на България в ЕС на 1 януари 2007 г., основни предизвикателства за страната ни в областта на околната среда са: подобряване на качеството на въздуха; осигуряване на правилното събиране и пречистване на градските отпадъчни води; правилно изпълнение на законодателството за опазване на природата; приемане на всеобхватна програма относно политиката в областта на кръговата икономика, опазване, съхранение и увеличаване на природния капитал (Постигането на благоприятен природозащитен статус на защитените видове и местообитания изисква цялостно изпълнение на Директивата за местообитанията и Директивата за птиците. За целта също така е необходимо да се осигури подкрепата на селското и горското стопанство за поддържането и подобряването на биологичното разнообразие) (Преглед на изпълнението на политиките на ЕС в областта на околната среда от 2019 г., Доклад за България). За постигане на целите в областта на околната среда и за интегрирането на тези цели в други области политиката от съществено значение са публичните и частни източници на финансиране като: Европейски структурни и инвестиционни фондове за периода 2014-2020 г.; полити-

ки на сближаване; Европейски фонд за морско дело и рибарство; Механизъм за свързване на Европа; „Хоризонт Европа“; Програма LIFE; Европейска инвестиционна банка; Европейски фонд за стратегически инвестиции; Национално финансиране на околната среда.

### *Обект на изследване*

На 06.12.2018 г. е одобрена с Решение на Министерски съвет № 577/17.08.2018 г. и финансирана от Министерството на образованието и науката със Споразумение № ДО-230/06-12-2018 - Национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“. Целта на програмата е провеждане на фундаментални и приложни научни изследвания, насочени към осигуряване на устойчива, благоприятна и по-безопасна среда на живот за населението на Република България. ННП „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, се изпълнява от Консорциум, който се състои от 9 (девет) научни организации и висши училища (Ганев, 2020): Българска академия на науките (БАН) – участват с 13 института; Софийски университет “Св. Климент Охридски”; Селскостопанска академия (ССА); Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски” (МГУ); Химикотехнологичен и металургичен университет (ХТМУ); Лесотехнически университет – София (ЛТУ); Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ); Технически университет – София (ТУ); Национален център по обществено здраве и анализи (НЦОЗА). Основните дейности по ННП „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ са структурирани в два главни работни пакета (РП): РП I – тематични (вертикални) и РП II – хоризонтални (cross-cutting), които са разделени на подпакети и научни задачи (Ганев, 2020, Кулов и др. 2020). Изследванията по ННП „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ включват част от основните теми в политиката на околната среда на ЕС като: Регионални/локални характеристики на климата на страната (РП.I.1.); Воден баланс и водни ресурси на страната (РП.I.2.); Качества на водите (повърхностни и подземни) (РП I.3.); Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и българската икономическа зона на Черно море

(РП.І.4.); Качеството на живот в страната (РП.І.5.); Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото - ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата (РП.І.6.); Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда (РП.І.7.); Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления (РП.І.8.); Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления (РП.І.9.); Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях (РП.І.10.); Разработване на специфични и подробни природозащитни цели на ниво защитена зона за 13 защитени зони от мрежата натура 2000 в България (Р.П. І.11.); Създаване на единна геоинформационна среда (РП.ІІ.1.); Международно сътрудничество (РП.ІІ.2.) и Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (поетапно и след края на програмата) (РП.ІІ.3).

### **Дейности по програмата**

Дейностите по разпространението на резултатите засягат възможно най-широк кръг заинтересовани страни (multi-actor approach). Дейностите по работния пакет са реализирани в рамките на работни пакети: РП.ІІ.3.1 Комуникация на резултатите от проекта с изследователски групи от други научни области; РП.ІІ.3.2 Разпространение на знания в рамките на международната изследователска общност; РП.ІІ.3.3 Принос към дейностите по разработване на публични и частни политики; РП.ІІ.3.4 Комуникация с широката общественост; РП.ІІ.3.5 Разпространение на знания в педагогическата практика

Съставени са научни публикации и са представени презентации и постери на български и международни научни форуми (конгреси, симпозиуми, конференции, кръгли маси и др.).

Организиран са срещи с местните власти в различни общини в България, като Чипровци, Монтана, Ямбол, Стралджа, Асеновград и др.

Програмата е представена в училищата в различни общини в България, като Чипровци, Монтана, Ямбол, Стралджа, Асеновград, Шумен и др.

Сключен е рамков договор за сътрудничество за разпространение на резултатите по програмата с Национално издателство за образование и наука „Аз-буки“.

Създаден е сайт на програмата - <https://nnpos.wordpress.com/>. Разработването на сайта е осъществено в платформата <https://wordpress.org/>. Използваната CMS (Content management system) – система за управление на съдържанието е най-популярната платформа в света, на която се базират повечето сайтове в интернет. В разработването на уеб сайта и неговото съдържание са взети предвид основните му функции: Споделяне на новини и обща информация за програмата; Споделяне на статии, карти, данни, резултати от изследванията и др. материали; Разпространение на информация за събития, свързани с проекта. Структурата на сайта е организирана в пет основни менюта, както следва:

1. НАЦИОНАЛНА НАУЧНА ПРОГРАМА – начална страница на сайта с подменюта, в която се предоставя обща информация за програмата: за нас, документи, работни пакети и научни задачи и анкета - <https://nnpos.wordpress.com/>;

2. ОТЧЕТИ - дава основна информация за членовете на проекта – техните имена, заемана научна или академична длъжност, компетенции - <https://modaineproject.eu/%d0%b5%d0%ba%d0%b8%d0%bf/>;

3. СЪБИТИЯ – включва следните страници – предстоящи събития, минали събития, сборника от конференция Pre-IGU Congress - <https://nnpos.wordpress.com/%d1%81%d0%b1%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b8%d0%ba-local-and-regional-aspects-of-natural-hazards/>

4. КОНТАКТИ - <https://nnpos.wordpress.com/%d0%ba%d0%be%d0%bd%d1%82%d0%b0%d0%ba%d1%82%d0%b8/>

5. ИЗПЪЛНИТЕЛЕН СЪВЕТ НА ННП - <https://nnpos.wordpress.com/%d0%b8%d0%b7%d0%bf%d1%8a%d0%bb%d0%bd%d0%b8%d1%82%d0%b5%d0%bb%d0%b5%d0%bd-%d1%81%d1%8a%d0%b2%d0%b5%d1%82-%d0%bd%d0%b0-%d0%bd%d0%bd%d0%bf/>

## **Международно сътрудничество**

Екипът на работния пакет организира и проведе съвместно с Commissions for Local and Regional Development, Land Use and Land Cover Change at the International Geographical Union (IGU) между 12 и 14

август 2021 г. във Варна (България) конференцията PRE-IGU CONGRESS SEMINAR (фиг. 1). В нея взеха участие 42 учени от България, Румъния, Полша, Украйна, Словения, Германия, Израел и Перу. Бяха изнесени 24 презентации и представени 7 постера.



**Фигура 1** Сертификат, програма и снимка на участниците в PRE-IGU CONGRESS SEMINAR

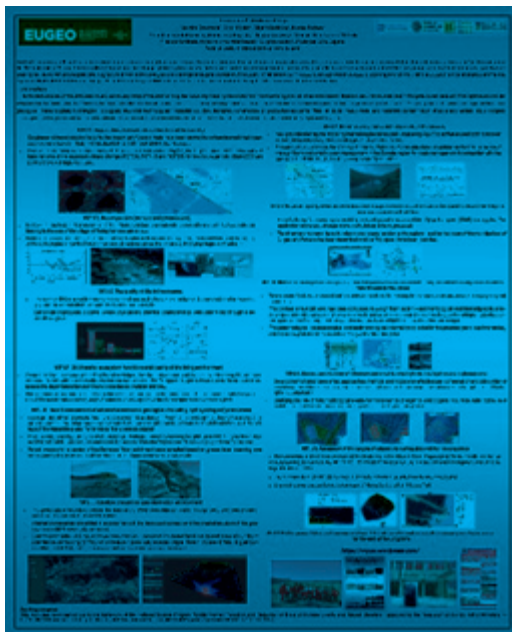
От началото на стартирането на програмата, екипа от учени на работния пакет е участвал в следните 6 научни конференции в чужбина:

1. Международен географски конгрес в Истанбул (Турция) в периода 16-22.08.2021 г.
2. XII International Agriculture Symposium „AGROSYM 2021“, 7-10.10.2021 г. (Босна и Херцеговина)
3. IV. BALKAN AGRICULTURAL CONGRESS (AGRIBALKAN 2022) в Одрин (Турция) в периода 31.08. – 2.09.2022 г.;
4. 4th ESP Europe Conference в Хераклион (Гърция), 10-14.10.2022 г.
5. Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation



of Environment, Кипър, 3-5.04.2023 г.;

6. 9-ти Географски конгрес в Барселона (Испания), 4-7.09.2023 г. (фиг. 2).



Фигура 2 Постер представен на 9-ти Географски конгрес в Барселона (Испания), 4-7.09.2023 г.

### Разпространение и популяризация на резултатите

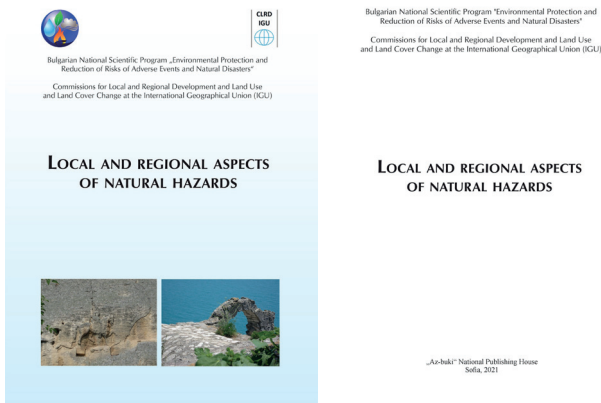
Резултатите по Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ са представени от членовете на работния пакет на различни научни и обществени събития в България. По значими от тях са: Българския географски фестивал – Стара Загора 2019 г.; Софийски фестивал на науката – 2019 г., 2021 г., 2022 г. и 2023 г.; Уебинар по случай Деня на Земята, 22.04.2021 г. и в памет на академик Тодор Николов; Трети научен семинар „Физика и химия на земята, атмосферата и океана“, 2021 г.; Четвърти научен семинар “Физика и химия на Земята, атмосферата и океана”, 2022 г.; Пети научен семинар “Физика и химия на Земята, атмосферата и океана”, 2023 г.; Световен ден на водата

(22.03.2023 г.), Световен ден на метеорологията (23.03.2023 г.), Световен ден Земята, 21.04.2023 г., Работна среща „Качество на живот в страната“, 21-23.06.2023 г. и др.,

В рамките на този работен пакет е съставен и издаден сборник от конференцията PRE-IGU CONGRESS SEMINAR, организирана от Commissions for Local and Regional Development, Land Use and Land Cover Change at the International Geographical Union (IGU) и Национална научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“. Заглавието на сборника е PRE-CONGRESS SEMINAR ON LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS - LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065 - <https://nnpos.wordpress.com/%d1%81%d0%b1%d0%be%d1%80%d0%bd%d0%b8%d0%ba-local-and-regional-aspects-of-natural-hazards/>

В сборника са включени 10 публикации, отразяващи резултатите по работните пакети (фиг. 3).

Статия	Район на изследване	Обхват
Kuolov et al., 2021	България	Национално
Bournaski et al., 2021	Община Приморско, България	Локално
Rudenko et al., 2021	Украйна	Национално
Rangelov et al., 2021	България	Национално
Spasova and Dimitrov, 2021	град София, България	Локално
Vasileva et al., 2021	България	Национално
Zhiyanski and Sokolovska, 2021	град Кърджали, България	Локално
Mirchev et al., 2021	Планински райони в България	Локално
Glushkova and Anev, 2021	България	Национално
Traykova et al., 2021	река Джерман	Локално



Фигура 3 Сборник от конференцията PRE-IGU CONGRESS SEMINAR

Общият брой статии, издадени по проекта са 4.

- Кулов, Б., В. Стоянова, Н. Рачев, Б. Борисова. (2020) Национална научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“. Борисова, Б., Б. Кулов, Г. Бърдаров, К. Найденов, С. Димитров, С. Недков. (ред.) География и регионално развитие. Сборник от научна конференция. Созопол: Фондация „ЛОПС“, ISBN 978-619-91670, 111-122
- Koulov, B., Stoyanova, V., Borisova, B., Nikolay, R., Ganey, K. (2021) REVIEW OF LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS. Сборник с доклади от Pre-congress seminar on local and regional aspects of natural hazards (12-14 август 2021), изд. Аз-буки, e-ISBN: 978-619-7065-82-4, 6-14
- Кулов, Б., Стоянова, В., Борисова, Б., Рачев, Н. (2023) Национална научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“ Образование, география и културен туризъм. Юбилеен сборник в чест на 60-годишнината на професор доктор на науките Стела Дерменджиева, Велико Търново., Част 2, УИ „Св. Св. Кирил и Методий“, ISBN:978-619-208-341-0, 519-529
- Стоянова, В., Кулов, Б., Борисова, Б., Рачев, Н. (2023) Природни бедствия и политики за опазване на околната среда през XXI век. Проблеми на географията, 1-2, Акад. изд. „Марин Дринов“, ISSN:2367-6671, DOI:10.35101/prg-2023.1-2.7, 107-129

## Литература

- Ганев, К. (2020) Осигуряване на устойчива, благоприятна и безопасна среда на живот за населението на Република България – приоритет на българската държава и наука. сп. Наука, кн. 2, том XXX, <http://spisanie-nauka.bg/arhiv/2-2020.pdf/>
- Железов, Г. (2014) Интегрирана оценка на природния и технологичния риск в Дунавската равнина в румънско-българския трансграничен участък Калафат–Видин– Турну Мъгуреле–Никопол. – Проблеми на географията, кн. 1–2, Изд. БАН „Проф. М. Дринов“, с. 3–10
- Стоянова, В., Цв. Коцев (2020) Индекс MeTo за оценка на опасността от замърсяване с тежки метали на почвите на Дунавските низини в България. Проблеми на географията 1-2, с. 63-78
- Koulov, B., Stoyanova, V., Borisova, B., Nikolay, R., Ganey, K. (2021) Review of local and regional aspects of natural hazards. Koulov, B., and Stoyanova, V. Local and regional aspects of natural hazards, Az-Buki – National Publishing House for Education and Science, ISBN:987-619-7065
- Prasad, A., L. Francescutti (2017) Natural Disasters. In International Encyclopedia of Public Health (Second Edition), Volume 5, Elsevier, pp 215-222 - <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/B9780128036785005191?token=B9353016648801D6AC05ADC71E072676A6954C556DE6AD1F0381F3259405588C6FB7E968F73A38F64DB4342D58FBF3BE&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230324100547> [Assessed: 24.03.2023]
- Stoyanova, V., Kotsev, Ts., Tcherkezova, E. (2020) Hazard of heavy metal pollution of soil by flooding from the Danube in the Tsibarska lowland. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, pp 1100-1105
- Renar, M. (2005) Rethinking security. In the state of the planet. Global security review, pp 27-49
- Bournaski E., G. Belev, D. Shopova (2021) An integrated approach to disaster risk assessment on the example of Primorsko municipality. Koulov, B. and Stoyanova, V. LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065
- Rudenko, L. H., O. L. Dronova, A. I. Bochkovska, V. S. Chabaniuk, K. A. Polyvach, S. A. Santalova, M. M. Vyshnia (2021) Assessment and visualization of emergencies risks in Ukraine. Koulov, B. and Stoyanova, V.

LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065

Ranguelov, B., D. Solakov, At. Kisyov, St. Dimovski, N. Stoyanov, M. Tomova, Chr. Tzankov, Dr. Gospodinov, E. Spassov, B. Georgieva, S. Christov, B. Milenkovich, O. Dimitrov (2021) Archive information extraction for ground conditions assessment. Koulov, B. and Stoyanova, V. LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065

Spasova Z., T. Dimitrov (2021) Universal thermal climate index and incidences of stroke in the age group 60+ in Sofia, Bulgaria. Koulov, B. and Stoyanova, V. LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065

Vasileva K., S. Arsova, V. Georgieva, T. Georgieva (2021) Cyanotoxins an emerging risk – molecular methods for detection (study in Bulgaria). Koulov, B. and Stoyanova, V. LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065

Zhiyanski M., M. Sokolovska (2021) Analyses on the general characteristics of soils in urban forest parks in Kardzhali. Koulov, B. and Stoyanova, V. LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065

Mirchev P., G. Georgiev, M. Georgieva, S. Belilov, M. Kechev, V. Petrova (2021) Health condition of Pinus Peuce and Pinus Heldreichii Forest stands in mountain areas in Bulgaria.

Glushkova M., S. Anev (2021) Productivity and physiological response of four hybrid poplar clones grown on different type of substrate. Koulov, B. and Stoyanova, V. LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065

Traykova E., N. Gribacheva, M. Grozeva. Water erosion risk evaluation at the upper part of the Dzherman river. Koulov, B. and Stoyanova, V. LOCAL AND REGIONAL ASPECTS OF NATURAL HAZARDS, Аз-буки – Национално издателство за образование и наука, 2021, ISBN:987-619-7065

**ПУБЛИКУВАНИ СТАТИИ  
В ПЕРИОДИЧНИ НАУЧНИ СПИСАНИЯ И ПОРЕДИЦИ ПРЕЗ  
ПЕРИОДА ЯНУАРИ 2019-ДЕКЕМВРИ 2024 Г. В КВАРТИЛИ Q1 И  
Q2 НА SJR<sup>22\*</sup>**

**Q1**

1. Andonova, M., Varbanov, V., Kazakov, S., Dedov, I., Vladova, D., 2024. Plant remains and what else? Environmental archaeology of the Late Hellenistic pit fills of Sexaginta Prista, Northern Bulgaria. *Environmental Archaeology*, <https://doi.org/10.1080/14614103.2024.2322865> (Q1).
2. Apostolou, A., 2023. Distribution of Alien and Translocated Freshwater Fish Species in Bulgarian Lotic Ecosystems, according to the WFD Classification. *Diversity*, vol. 15, no. 9, p. 954; <https://doi.org/10.3390/d15090954> (Q1).
3. Benkov, I.; Varbanov, M.; Venelinov, T.; Tsakovski, S., 2023. Principal Component Analysis and the Water Quality Index—A Powerful Tool for Surface Water Quality Assessment: A Case Study on Struma River Catchment, Bulgaria. *Water*, vol. 15, 1961. <https://doi.org/10.3390/w15101961> (Q1).
4. Bojilova R, Mukhtarov P, Pancheva D. Global Ionospheric Response During Extreme Geomagnetic Storm in May 2024. *Remote Sensing*. 2024; 16(21):4046. <https://doi.org/10.3390/rs16214046> (Q1)
5. Bojilova, R, Mukhtarov, P., 2023. Analysis of the Ionospheric Response to Sudden Stratospheric Warming and Geomagnetic Forcing over Europe during February and March. *Universe*, vol. 9, no. 8, p. 351. <https://doi.org/10.3390/universe9080351> (Q1).
6. Boycheva I, Bonchev G, Manova V, Stoilov L, Vassileva V. 2024. How histone acetyl transferases shape plant photomorphogenesis and UV response. *International Journal of Molecular Sciences* 25, 14, 7851; doi: 10.3390/ijms25147851; Q1, IF 4.9.

---

<sup>22</sup> **Забележка:** В списъка са включени само публикации в периодични издания и поредици с **IF** и **SJR**, попадащи в квартали **Q1** и **Q2** по **SJR**. Не са включени публикации от групите **Q3** и **Q4** на **SJR**, а също така и други публикации в издания с **IF** и/или **SJR**. Не са включени публикации в списания и поредици без **IF**, независимо че се индексират в **Scopus** или **WoS**.

7. Di Cesare, A., Dzhembekova, N., Cabello-Yeves, PJ., Eckert, EM., Slabakova, V., Slabakova, N., Peneva, E., Bertoni, R., Corno, G., Salcher, MM., Kamburska, L., Bertoni, F., Rodriguez-Valera, F., Moncheva, S. and Callieri, C., 2020. Genomic Comparison and Spatial Distribution of Different *Synechococcus* Phylotypes in the Black Sea. *Frontiers in Microbiology*, 11:1979. doi: 10.3389/fmicb.2020.01979 (Q1).
8. Dzhembekova, N., Rubino, F., Belmonte, M., Zlateva, I., Slabakova, N., Ivanova, P., Slabakova, V., Nagai, S. and Moncheva, S., 2022. Distribution of Different *Scrippsiella acuminata* (Dinophyta) Cyst Morphotypes in Surface Sediments of the Black Sea: A Basin Scale Approach. *Front. Mar. Sci.*, vol. 9, p. 864214 (Q1, топ 10).
9. Frantzova A., Ivanov P., Dobrev N., Berov B., Nankin R., Krastanov M., Rangelov B. (2024) Rethinking the landslide risk assessment for socio-ecological systems using the example of the northern Bulgarian Black Sea coast. *One Ecosystem* 9: e136166. <https://doi.org/10.3897/oneeco.9.e136166> (Scopus Q1)
10. Georgieva, G., Tzankov, Chr. and Kisyov, A., 2022. Geophysical measurements of the southernmost microglacier in Europe suggest permafrost occurrence in the Pirin Mountains (Bulgaria). *The Cryosphere*, vol. 16, pp. 4847 – 4863, 2022, <https://doi.org/10.5194/tc-16-4847-2022> (Q1, топ 10).
11. Georgieva, M., Vassileva, V., 2023. Stress management in plants: examining provisional and unique dose-dependent responses. *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, no. 6, p. 5105. doi: 10.3390/ijms24065105 (Q1).
12. Georgieva, M., Belilov, S., Dimitrov, S., Iliev, M., Trenkin, V., Mirchev, P., Georgiev, G., 2022. Application of Remote Sensing Data for Assessment of Bark Beetle Attacks in Pine Plantations in Kirkovo Region, the Eastern Rhodopes. *Forests*, vol. 13, no. 4, p. 620, MDPI Open Access Publishing, pp. 1 – 15, <https://doi.org/10.3390/f13040620> (Q1).
13. Grabowski, J., Stoykova, K., Wierzbowski, H., Wojcik-Tabol, P., 2021. Upper Berriasian chemostratigraphy, clay minerals and calcareous nannofossils of the Barlya section (Western Balkan, Bulgaria): Implications for palaeoclimate and productivity changes, and stratigraphic correlations across the Alpine Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology*



- and *Palaeoecology*, vol. 567, p. 110252, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110252> (Q1, топ 10).
14. Grabowski, J., Pszczółkowski, A., Stoykova, K., Martinez, M., Iwańczuk, J., Krzemiński, L., Sidorcuk, M. 2024. Integrated stratigraphy of the Valanginian Carbon-Isotope-Excursion (Weissert event) from the Kryta Valley section, Western Carpathians (Poland): correlation with the Vocontian Basin and palaeoenvironmental implications. *Newsletters on Stratigraphy*, 11, 2024, published online November 2024, DOI: 10.1127/nos/2024/0849 (Q1).
  15. Ivanova, T., Marchev, A., Chervenkov, M., Bosseva, Y., Georgiev, M., Kozuharova, E., Dimitrova, D., 2023. Catching the Green—Diversity of Ruderal Spring Plants Traditionally Consumed in Bulgaria and Their Potential Benefit for Human Health. *Diversity*, vol. 15. No. 3, p. 435. <https://doi.org/10.3390/d15030435> (Q1).
  16. Ivanova, T.; Chervenkov, M., Kozuharova, E., Dimitrova, D., 2022. Ethnobotanical Knowledge on Herbs and Spices in Bulgarian Traditional Dry-Cured Meat Products. *Diversity*, vol. 14, p. 416. <https://www.mdpi.com/1424-2818/14/6/416> (Q1).
  17. Jupke, JF., Birk, S., Apostolou, A., Aroviita, J., Baattrup-Pedersen, A., Baláži, P., Barešová, L., Blanco, S., Borrego-Ramos, M., van Dam, H., Dimitriou, E., Feld, CK., Ferreira, MT., Gecheva, G., Gomà, J., Hanžek, N., Haslev, IM., Isheva, T., Jamoneau, A., Jyrkänkallio-Mikkola, J., Kahlert, M., Karaouzas, I., Karjalainen, SM., Olenici, A., Panek, P., Paril, P., Peeters, ETHM., Polášek, M., Pont, D., Pumputyte, A., Sandin, L., Sochuliaková, L., Soininen, J., Stanković, I., Straka, M., Šušnjara, M., Sutela, T., Tison-Rosebery, J., Udovič, MG., Verhofstad, M., Žutinić, P., Schäfer, RB., 2023. European river typologies fail to capture diatom, fish, and macrophyte community composition. *Sci Total Environ.*, vol. 896, p. 165081. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165081. (Q1, топ 10).
  18. Katrandzhiev, K., Gocheva, K., Bratanova-Doncheva, S., 2022. Whole System Data Integration for Condition Assessments of Climate Change Impacts: An Example in High-Mountain Ecosystems in Rila (Bulgaria). *Diversity*, vol. 14, p. 240, <https://doi.org/10.3390/d14040240> (Q1).
  19. Kounov, A., Gerdjikov, I., Antić, M., Georgiev, N., Spikings, R., 2023. Late Alpine multistage exhumation of the northwestern Rhodope Metamorphic

- Complex (northern Rila Mountains, Bulgaria). *International Journal of Earth Sciences*, <https://doi.org/10.1007/s00531-023-02321-6> (Q1)
20. Kozuharova, E., Pasdaran, A., Al Tawaha, A.R., Todorova, T., Naychov, Z., Ionkova, I., 2022. Assessment of the Potential of the Invasive Arboreal Plant *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae) as an Economically Prospective Source of Natural Pesticides. *Diversity*, vol. 14, no. 8, MDPI, DOI: <https://doi.org/10.3390/d14080680>, 680. (Q1).
  21. Kvamme, B. & Vasilev, A., 2023. Black Sea gas hydrates: safe long terms storage of CO<sub>2</sub> with environmentally friendly energy production, vol. 16, p. 1223. *Sustainable Energy and Fuels*, vol. 7, no. 1, DOI:10.1039/d2se01725c (Q1).
  22. Marchev, P., Raicheva, R., Georgiev, S., Savov, I.P., Jeleu, D., 2021. Formation of ultrapotassic magma via crustal contamination and hybridization of mafic magma: an example from the Stomanovo monzonite, Central Rhodope Massif, Bulgaria. *Geological Magazine*, <https://doi.org/10.1017/S0016756821000868> (Q1).
  23. Marchev, P., Raicheva, R., Jicha, B., Guillong, M., Ivanova, R., Bachmann, O., Spikings, R., Okay, A., Ozsvárt, P. 2024. The large Rupelian Rhodope Massif eruptions as the source of airfall tuffs in SE, S and Central Europe: 40Ar/39Ar and U-Pb age constraints. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 113: 1619–1641 . <https://doi.org/10.1007/s00531-024-02457-z> (Q1)
  24. Naydenov, K. D., Naydenov, M. K., Alexandrov, A., Gurov, T., Ivanovska, S. and et al., 2023. Speciation and historical migration pattern interaction: examples from *P. nigra* and *P. sylvestris* phylogeography. *Eur J Forest Res*, vol. 142, p. 1 – 26, <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01513-0> (Q1).
  25. Naydenova, I., Radoykova, T., Petrova, T., Sandov, O., Valchev, I., 2023. Utilization Perspectives of Lignin Biochar from Industrial Biomass Residue. *Molecules*, vol. 28, no. 12, p. 4842. <https://doi.org/10.3390/molecules28124842> (Q1).
  26. Naydenova, I., Sandov, O., Wesenauer, F., Laminger, T., Winter, F., 2020. Pollutants formation during single particle combustion of biomass under fluidized bed conditions: An experimental study. *FUEL*, p. 278, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117958> (Q1, топ 10).
  27. Nikolova, V., Kamburov, A., Rizova, R., 2021. Morphometric analysis of

- debris flows basins in the Eastern Rhodopes (Bulgaria) using geospatial technologies. *Natural Hazards*, vol. 105, pp. 159–175, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04301-4> (Q1).
28. Radulović, B.V., Metodiev, L.S., Motchurova-Dekova, N., Tchoumatchenco, P., 2023. Early–Middle Jurassic brachiopods from Ponor Mountain, Western Balkan Mountains, Bulgaria; taxonomy, biostratigraphy and occurrence in the context of the early Toarcian Oceanic Anoxic Event. *Historical Biology*, vol. 53, pp. 1 – 28, <https://doi.org/10.1080/08912963.2023.2190757>. ISSN 0891-2963 (Q1).
  29. Safonova, A., Hamad, Y., Dmitriev, E., Georgiev, G., Trenkin, V., Georgieva, M., Dimitrov, S., Iliev, M., 2021. Individual Tree Crown Delineation for the Species Classification and Assessment of Vital Status of Forest Stands from UAV Images. *Drones*, 5, 3, MDPI Open Access Publishing, DOI:10.3390/drones5030077, pp. 1 – 18. (Q1, топ 10).
  30. Sinnyovsky, D., Gorbach, A., Gorbach, V., Sinnyovska, D., 2023. Kamchatka—the Cold and the Heat of the Earth. *Geoheritage*, vol. 15, no. 115, pp. 1 – 33, <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00885-y> (Q1).
  31. Solakov, D., Simeonova, S., Trifonova, P., Metodiev, M., Raykova, P., 2023. Earthquake scenarios and population exposure for the city of Plovdiv. *Natural Hazards*, vol. 118, no. 3, pp. 2153-2171 (Q1).
  32. Trichkova, T., Todorov, M., Kenderov, M., Hubenov, Z., Botev, I., Stefanov, T., Georgiev, D., Jurajda, P., 2022. Invasive alien species of benthic macroinvertebrates and fish in the Bulgarian sector of the Danube River – results of the Joint Danube Survey 4 (JDS4). *Water*, vol. 14, pp. 2299, doi: <https://doi.org/10.3390/w14152299> (Q1).
  33. Trichkova, T., Paunović, M., Cogălniceanu, D., Schade, S., Todorov, M., Tomov, R., Stănescu, F., Botev, I., López-Cañizares, C., Gervasini, E., Hubenov, Z., Ignatov, K., Kenderov, M., Marinković, N., Mitton, I., Preda, C., Spinelli, F. A., Tsiamis, K. & Cardoso, A. C., 2021. Pilot application of ‘Invasive Alien Species in Europe’ smartphone app in the Danube Region. *Water*, vol. 13, p. 2952, <https://doi.org/10.3390/w13212952> (Q1).
  34. Tsvavkov, E., Tsvetanov, N., Shishkova, V., E., Panayotov, M., 2022. First dendrochronological studies of *Quercus protoroburoides*. *Dendrochronologia*, vol. 75, p. 125984, <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125984> (Q1).

35. Vasilev, A., Tsekov, M., Petsinski, P., Gerilowski, K., Slabakova, V., Trukhchev, D., Botev, E., Dimitrov, O., Dobrev, N., Parlichev, D., 2021. New Possible Earthquake Precursor and Initial Area for Satellite Monitoring. *Frontiers in Earth Science*, Special issue: Achievements and New Frontiers in Research Oriented to Earthquake Forecasting, vol. 8, pp. 752 – 760, doi: 10.3389/feart.2020.586283 (Q1).
36. Velichkova, R., Pushkarov, M., Angelova, R.A., Sandov, O., Markov, D., Simova, I., Stankov, P., 2022. Exploring the Potential of Straw Biochar for Environmentally Friendly Fertilizers. *Sustainability*, vol. 14, p. 6323, <https://doi.org/10.3390/su14106323> (Q1).
37. Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., Tsakovski, St.. 2021. Water quality assessment of a river catchment by the composite Water Quality Index and Self-Organizing Maps. *Ecological Indicators*, vol. 120, p. 106872, ISSN: 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106872> (Q1).
38. Zafirov, N., Panayotov, M., Tsvetanov, N., Nikolchova, I., Trouet, V., 2020. Dendroclimatic analysis of *Pinus peuce* Griseb. at subalpine and treeline locations in Pirin mountain, Bulgaria, *Dendrochronologia*, vol. 61, <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125703> (Q1).
39. Zák, Jirí, Svojtka, M., Gerdjikov, I., Vangelov, D., Kounov, A., Sláma, J., Kachlík, V., 2023. In search of the Rheic suture: detrital zircon geochronology of Neoproterozoic to Lower Paleozoic metasedimentary units in the Balkan fold-and-thrust belt in Bulgaria. *Gondwana research*, vol. 121, pp. 196 – 214, ISSN (print):1878-0571, ISSN (online):1342-937X, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.04.010> (Q1, топ 10).

## Q2

40. Apostolou, A., Pehlivanov, L., Schabuss, M., Zornig, H., Wolfram, G., 2023. Fish Biozonation in the Balkan Peninsula, Especially in Bulgaria: A Challenge. *Fishes*, vol. 8, no. 91, pp. 1 – 8 (Q2).
41. Belilov, S., Todorov, I., Georgieva M., Georgiev G. 2023. New parasitoid (Hymenoptera, Chalcidoidea) records of bark beetles (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) in pine plantations in Bulgaria. *Biodiversity*, <https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e109325> (Q2).
42. Bojilova, R., Mukhtarov, P., & Miloshev, N., 2020. *Climatology of*

- the index of the biologically active ultraviolet radiation for Sofia. An empirical forecast model for predicting the UV-index. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 4, pp. 531 – 538 (Q2).
43. Bojilova, R., Mukhtarov, P., Miloshev, N., 2022. Latitude Dependence of the Total Ozone Trends for the Period 2005–2020: TOC for Bulgaria in the Period 1996 – 2020. *Atmosphere*, vol. 13, p. 918, <https://doi.org/10.3390/atmos13060918> (Q2).
  44. Boncheva, I., Andreeva, P., Sachanski, V., Yaneva, M., Georgiev, S., 2023. Palaeozoic (Silurian–Devonian) cherts from the Balkan Terrane, western Bulgaria: geochemistry, biostratigraphy and depositional settings. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, <https://doi.org/10.1007/s12549-023-00578-y> (Q2).
  45. Bozukov, V., Ivanov, D., 2020. New palaeobotanical data for the late Oligocene Pernik Coal Basin (W Bulgaria) - preliminary results. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 11, pp. 1562 – 1570, DOI:10.7546/CRABS.2020.11.11 (Q2).
  46. Chervenkov H., Slavov K., 2020. Historical Climate Assessment of Precipitation-based ETCCDI Climate Indices Derived from CMIP5 Simulations, *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, vol. 73, no 7, pp. 942 – 948, DOI:10.7546/CRABS.2020.07.06 (Q2).
  47. Chervenkov, H., Spiridonov, V., 2024. Clouds Formed by Thermals Arising and Evolving Under the Influence of the Coriolis Force. In: Lirkov, I., Margenov, S. (eds) *Large-Scale Scientific Computations. LSSC 2023. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13952. Springer, Cham., [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2_29) (Q2).
  48. Dimitrov O.V., Vacheva, K.Z., Korzhenkov, A.M., Kouzov, Chr., Larkov, A.S., Ovsuchenko, A.N., Rogozhin, E.A., Ranguelov, B.K. Strelnikov, A.A., 2022. Seismic Deformation in the Archaeological Sites of Varna, Bulgaria. *Izvestya Physics of the Solid Earth*, vol. 58, no. 1, Pleades Publishing, Ltd., ISSN:1069-3513, DOI:10.1134/S1069351322010013, pp. 127 – 147 (Q2).
  49. Dimitrov, S., Popov, A., Iliev, M., 2021. An Application of the LCZ Approach in Surface Urban Heat Island Mapping in Sofia, Bulgaria. *Atmosphere*, vol. 12, p. 1370. <https://doi.org/10.3390/at-mos12111370> (Q2).
  50. Dimitrova, R. and Velizarova, M., 2021. Assessment of the Contribution

- of Different Particulate Matter Sources on Pollution in Sofia City. *Atmosphere*, vol. 12, p. 423, <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/4/423> (Q2).
51. Dreischuh, T., Kolarov, G., Grigorov, I., Vulkova, L., Peshev, Z., Deleva, A., Gurdev, L., 2021. Horizontal lidar sensing of the near-ground aerosol load over Sofia city, *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 74, no. 6, pp. 835 – 842, DOI:10.7546/CRABS.2021.06.05 (Q2).
  52. Evgenieva, Ts., Vakareeva, E., Gurdev, L., Dreischuh, T., 2024. Identification of Saharan-Dust Intrusions over Sofia, Bulgaria, Using Near-Ground PM10 and PM2.5 Mass Concentration Measurements. *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 24, p. 230304. <https://doi.org/10.4209/aaqr.230304> (Q2).
  53. Ferreira R., Petrova, T., Ferreira, A., Costa, M., Naydenova. I., Atanasova-Vladimirova, S., Rangelov, B., 2020. Size-segregated particulate matter from gasification of Bulgarian agro-forest biomass residue. *Energies*, vol. 14, no. 2, p. 385; <https://doi.org/10.3390/en14020385> (Q2).
  54. Gadzhhev, G., Georgieva, I., Ganey, K., Ivanov, V., Miloshev, N., 2024. Influence of the Grid Resolutions on the Computer Simulated Transport and Transformation Atmospheric Composition Processes over the Territory of Bulgaria. In: Lirkov, I., Margenov, S. (eds) *Large-Scale Scientific Computations. LSSC 2023. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13952. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2_32) (Q2).
  55. Gadzhhev, G., Ganey, K., 2021. Computer Simulations of Air Quality and Bio-Climatic Indices for the City of Sofia. *Atmosphere*, 12, 1078, <https://doi.org/10.3390/atmos12081078> (Q2)
  56. Gadzhhev, G., Ganey, K., 2022. Editorial for the Special Issue “Atmospheric Composition and Regional Climate Studies in Bulgaria”. *Atmosphere*, vol. 13, p. 1547. <https://doi.org/10.3390/atmos13101547> (Q2).
  57. Gadzhhev, G., Ganey, K., Mukhtarov, P., 2022. Influence of the Grid Resolutions on the Computer Simulated Surface Air Pollution Concentrations in Bulgaria. *Atmosphere*, vol. 13, p. 774. <https://doi.org/10.3390/atmos13050774> (Q2).
  58. Georgiev, D. and Gurov, T., 2020. Distributed Deep Learning on Heterogeneous Computing Resources Using Gossip Communication, D. Georgiev, T. Gurov, „Distributed Deep Learning on Heterogeneous

- Computing Resources Using Gossip Communication“, LNCS, vol. 11958, pp. 220 – 227, DOI: 10.1007/978-3-030-41032-2\_25 (Q2).
59. Georgiev, G., Georgieva, M., Trencheva, K., Mirchev, P., Kechev, M., Belilov, S., Petrova, V., 2021. First record of *Cinara* (*Cinara*) *cedri cedri* Mimeur (Hemiptera: Aphididae) in Bulgaria. *Journal of Zoology*, vol. 104, pp. 161 – 165 (Q2).
  60. Georgieva, M., Bonchev, G., Zehirov, G., Vasileva, V., Vassileva, V., 2021. Neonicotinoid insecticides exert diverse cytotoxic and genotoxic effects on cultivated sunflower. *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14497-y> (Q2).
  61. Georgieva, I., Gadzhev, G., Ganev, K., 2022. Study the recurrence of the dominant pollutants in the formation of AQI status over the city of Sofia for the period 2013-2020, Springer, *Lecture Notes in Computer Science*, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-97549-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-97549-4_12) (Q2).
  62. Georgieva, I., Gadzhev, G., Ganev, K., Ivanov, V., Miloshev, N., 2024. Evaluation of the Effects of the National Emission Reduction Strategies for Years 2020–2029 and After 2030 on the AQI on the Territory of Bulgaria. In: Lirkov, I., Margenov, S. (eds), *Large-Scale Scientific Computations. LSSC 2023. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13952. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2_34) (Q2).
  63. Gubanova, A., Goubanova, K., Krivenko, O., Stefanova, K., Garbazey, O., Belokopytov, V., Liashko, T., Stefanova, E., 2022. Response of the Black Sea Zooplankton to the Marine Heat Wave 2010: Case of the Sevastopol Bay. *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, p. 1933, <https://doi.org/10.3390/jmse10121933> (Q2).
  64. Georgieva, M., Petkova, K., Molle, E. 2024. Tree growth and vitality of a 33-year-old Douglas-fir provenance test in northwest Bulgaria. *Folia Oecologica*, 51, 2, Elsevier Products, DOI: 10.2478/foecol-2024-0017, 175-185. (Q2)
  65. Viktoria, I., Kondeva-Burdina, M., Georgieva, Tzv., Pavlova, V., Georgieva, V., 2019. Toxicity of cyanobacteria. Organotropy of cyanotoxins and toxicodynamics of cyanotoxins by species. *Pharmacia*, vol. 66, no. 3, pp. 91 – 97. doi: 10.3897/pharmacia.66.e37035 (Q2).
  66. Ivanov, D., Belkinova, D., 2021. *Closterium mosbruggeri* sp. nov.: a new fossil species from the middle Miocene of Northwest Bulgaria.



- Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 101, Springer, ISSN: Electronic ISSN 1867-1608; Print ISSN 1867-1594, DOI:doi.org/10.1007/s12549-020-00476-7, pp. 69 – 74 (Q2).
67. Ivanov, D., Utescher, T., Djorgova, N., Bozukov, V., Ashraf, A., 2021. The late Miocene Beli Breg Basin (Bulgaria): palaeoecology and climate reconstructions based on pollen data. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, vol. 101, Springer, ISSN:1867-1594, DOI:doi.org/10.1007/s12549-020-00475-8, pp. 79 – 102 (Q2).
68. Ivanov, V., Gadzhev, G., 2022. Behavior and Scalability of the Regional Climate Model RegCM4 on High Performance Computing Platforms. In: Lirkov I., Margenov S. (eds) *Large-Scale Scientific Computing. LSSC 2021. Lecture Notes in Computer Science*, vol, 13127. Springer, Cham, pp. 124 – 131, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-97549-4\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-97549-4_14) (Q2).
69. Ivanov, V., Gadzhev, G., Georgieva, I., Ganey, K., Miloshev, N., 2024. Influence of the Grid Resolutions on the Computer Simulated Air Quality Indices over the Territory of Bulgaria. In: Lirkov, I., Margenov, S. (eds) *Large-Scale Scientific Computations. LSSC 2023. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 13952. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2\\_41](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56208-2_41) (Q2).
70. Ivanov, V., Georgieva, I., 2021. Basic Facts about Numerical Simulations of Atmospheric Composition in the City of Sofia. *Atmosphere*, vol. 12, p. 1450. <https://doi.org/10.3390/atmos12111450> (Q2).
71. Ivanova, P., Dzhebekova, N., Atanassov, I., Rusanov, K., Raykov, V., Zlateva, I., Yankova, M. Raev, Y., Nikolov, G. 2021. Genetic diversity and morphological characterisation of three turbot (*Scophthalmus maximus* L., 1758) populations along the Bulgarian Black Sea coast. *Nature Conservation*, vol. 43, pp. 123 – 146, doi: 10.3897/natureconservation.43.64195 (Q2).
72. Kechev, M., Naglis, S., Negrobov, O.P., 2022. A new species *Chrysotus hubenovi* and new data on the family Dolichopodidae (Diptera) of Bulgaria. *Zoosystematica Rossica*, 31, 1, Zoological institute, Russian academy of sciences, ISSN: 2410-0226, <https://doi.org/10.31610/zsr/2022.31.1.27>, pp. 27 – 41 (Q2).
73. Koleva-Rekalova, E., Dobrev, N., 2019. Sarmatian carbonate tempestites from Cape Kaliakra (NE Bulgaria): evidence for the existence of

- microbialites. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 72, no. 11, pp.1507 – 1514, DOI: 10.7546/CRABS.2019.11.08 (Q2).
74. Lapeva-Gjonova, A., Radchenko, A.G., 2021. Ant genus *Strongylognathus* (Hymenoptera, Formicidae) in Bulgaria: a preliminary review. *Biodiversity Data Journal*, vol. 9, <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e65742> (Q2).
75. Lapeva-Gjonova, A., Csősz, S., Mifsud, D., 2024. Further records of social parasitic ants in Europe and review of the Bulgarian species. *Biodiversity Data Journal*, vol. 12, <https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e123575> (Q2).
76. Malcheva, B., Nustorova, M., Zhiyanski, M., Yaneva, R., Abakumov, E., 2022. Microbial biomass carbon and enzymes-degraders of carbohydrates in polar soils from the area of Livingston Island (Antarctica). *Soil Science Annual*, vol. 73, no. 2, p. 156042 <https://doi.org/10.37501/soilsa/156042> (Q2).
77. Matov, M., Peneva, E., 1 and Galabov, V., 2022. Black Sea Freezing and Relation to the Winter Conditions in 2006 – 2021. *Atmosphere*, vol. 13no. 6, p. 974; <https://doi.org/10.3390/atmos13060974> (Q2).
78. Mihaylova, V., Yotova, G., Marinova, K., Benderev, A., Lyubomirova, V., Tsakovski, S., 2023. Biomonitoring of Potentially Toxic Elements in an Abandoned Mining Region Using *Taraxacum officinale*: A Case Study on the “Tsar Asen” Mine in Bulgaria. *Applied Sciences*, vol. 13, p. 11860, <https://doi.org/10.3390/app132111860> (Q2).
79. Mirchev, P., Georgiev, G., Georgieva, M., Markoff, I., Zaemdzhikova, G., Matova, M., 2021. Abundance and impact of egg parasitoids on the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in Bulgaria. *iForest*, vol. 14, pp. 456 – 464. DOI:10.3832/ifer3538-014 (Q2).
80. Natcheva, R., Ganeva, A., Biserkov, V., Biserkov, J., 2021. Annual dynamics of specks in the landscape mosaic from Sentinel-2 in a mire at the ecological edge. *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, vol. 74, no. 9, pp. 1338 – 1345 (Q2).
81. Nikolova, V., Nikolova, N., Stefanova, M. and Matev, S., 2024. Annual and Seasonal Characteristics of Rainfall Erosivity in the Eastern Rhodopes (Bulgaria). *Atmosphere*, vol. 15, no. 3, p. 338; <https://doi.org/10.3390/atmos15030338> (Q2).
82. Nikolova, N.; Radeva, K.; Todorov, L.; Matev, S. Drought Dynamics and Drought Hazard Assessment in Southwest Bulgaria. *Atmosphere* 2024,

- vol. 15, 888. <https://doi.org/10.3390/atmos15080888> (Q2)
83. Nitcheva, O., Dobрева, P., Hristova, N., Mileva, B., Kolcheva, K., Hrishev, L., 2020. Assessment of the possibility of the hydrological model application to predict runoff under climate scenarios. Case study in the Bulgarian Danube basin. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*, vol. 73, pp.1443 – 1448, (Q2).
84. Nitcheva, O., Dobрева, P., Hristova, N., Mileva, B., Trenkova, T.. 2021. Using a hydrological model to determine the cause of the water supply crisis for the town of Pernik in Bulgaria. *Environmental Earth Sciences*, vol. 80, p. 106, <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09400-4> (Q2).
85. Petrova, T., Naydenova, I., Ribau, J., Ferreira, AF, 2023. Biochar from agro-forest residue: application perspective based on decision support analysis. *Applied Sciences*, vol. 13, no. 5, p. 3240, <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/3240> (Q2).
86. Pophristov, V.; Nikolova, N.; Matev, S.; Gera, M. Relations between High Anticyclonic Atmospheric Types and Summer Season Temperature in Bulgaria. *Atmosphere* 2024, 15, 620. <https://doi.org/10.3390/atmos15060620> (Q2)
87. Rabadjieva, D., Kovacheva, A., Tepavitcharova, S., Gergulova, R., Ilieva, R., Vladov, I., Karavoltsov, S., 2021. Modelling of chemical species of Al, Mn, Zn, and Pb in river body waters of industrial areas of West Rhodope Mountain Bulgaria, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 193, p. 430, <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09193-w> (Q2).
88. Radeva, K., Nikolova, N., 2020. Hydrometeorological Drought hazard and vulnerability assessment for Northern Bulgaria. *Geographica Pannonica*, vol. 24, no. 2, pp. 112 – 123, DOI:10.5937/gp24-25074 (Q2).
89. Sachanski, V., 2020. The first Silurian phyllocarid crustacean remains in Bulgaria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 8, pp. 1108 – 1112, DOI: 10.7546/CRABS.2020.08.09 (Q2).
90. Savov, P., Kolev, N., Vatskicheva, M., Evgenieva, Ts., Ivanov, D., Kaleyna, P., 2019. Relationship between the Urban Boundary Layer Height and the Vertical Distribution of PM Number and Mass Concentrations in Sofia Valley. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, vol. 72, no. 10, pp. 1366 – 1373, DOI: 10.7546/CRABS.2019.10.09 (Q2).
91. Solakov, D., Stefanov, D., Simeonova, S., Raykova-Tsankova, P., 2024.

- Seismic Risk Assessment for the City of Sofia, Bulgaria. *Geosciences* 2024, 14, 14(11), Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), ISSN:2076-3263, DOI:10.3390/geosciences1, 1-16 (Q2)
92. Stoyanov, S., Vladimirov, V. & Bancheva, S., 2023. *Sisyrinchium rosulatum* E.P. Bicknell (Iridaceae), a new alien species to the Bulgarian flora. *BioInvasions Records*, vol. 12, no. 2, pp. 493 – 500, <https://doi.org/10.3391/bir.2023.12.2.13> (Q2).
  93. Stoykova, K., Granchovski, G., Ullmann, C., 2020. First data on the expression of the Campanian- Maastrichtian boundary event in Bulgaria: calcareous nannofossil and carbon isotope record. *Comptes rendus de l'Acad´emie bulgare des Sciences*, vol. 73, no. 12, pp. 1711 – 1719, ISSN 1310-1331; ISSN 2367-5535, DOI:10.7546/CRABS.2020.12.11 (Q2).
  94. Tonev, D., Geleva, E., Slavchev, B., Protohristov, H., Veleva, B., Dobrev, L., Demerdjiev, A., Dimitrova, D., 2023. Investigation of Natural Radioactivity of Drinking Water Sources in South-Central Bulgaria. *J. Radioanal. Nucl. Chem*, vol. 332, pp. 4641 – 4649. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-023-08983-5> (Q2).
  95. Tsvetanov, N., Dolgova, E., Panayotov, M., 2020. First measurements of Blue intensity from *Pinus peuce* and *Pinus heldreichii* tree rings and potential for climate reconstructions. *Dendrochronologia*, vol. 60, doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125681 (Q2).
  96. Yotinov, I., Belouhova, M., Foteva, A., Dinova, N., Todorova, Y., Schneider, I., Daskalova, E., and Topalova, Y., 2022. Application of Nanodiamonds in Modelled Bioremediation of Phenol Pollution in River Sediments. *Processes*, vol. 10, no. 3, p. 602. <https://doi.org/10.3390/pr10030602> (Q2).
  97. Yotova, G., Hristova, M., Padareva, M., Simeonov, V., Dinev, N., Tsakovski, S., 2023. Multivariate Exploratory Analysis of the Bulgarian Soil Quality Monitoring Network. *Molecules*, vol. 28, p. 6091, <https://doi.org/10.3390/molecules28166091> (Q2).
  98. Zaemzhikova, G., 2020. Trophic Connections of Leafroller Moths (Lepidoptera: Tortricidae) and Oaks in Sofia Region, Bulgaria. *Ecologica Montenegrina*, vol. 30, pp. 47 – 59. <http://dx.doi.org/10.37828/em.2020.30.4> (Q2).
  99. Zlateva, I., Ivanova, P., Dzhembekova, N., Doncheva, V., Popov, I., Slabakova, V., Raev, Y., Raykov, V., Dimitrov, D., 2023. Spatial Distribution

and Genetic Diversity of Turbot (*Scophthalmus maximus*, Linnaeus, 1758) in Bulgarian Black Sea waters relative to fishing pressure and their abiotic environment. J. Mar. Sci. Eng., vol. 11, 1982. <https://doi.org/10.3390/jmse11101982> (Q2)

**ИЗПЪЛНИТЕЛЕН СЪВЕТ**  
**НА НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА**  
**„Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“**  
**декември 2018 – декември 2024 г.**

1. Чл.-кор. Костадин Ганев – *БАН*
2. Доц. д-р Николай Рачев – *Софийски университет „Св. Климент Охридски“*
3. Проф. д-р Стефка Приставова – *Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“*
4. Проф. д-р инж. Емил Михайлов – *Химикотехнологичен и металургичен университет*
5. Проф. д-р Петър Желев – *Лесотехнически университет – София*
6. Доц. д-р инж. Илияна Найденова – *Технически университет – София*
7. Проф. Цвета Георгиева – *Национален център по обществено здраве и анализи*
8. Проф. д-р инж. Венера Цолова (от 2021 г.); проф. д-р Васил Николов (от 2018 г.) – *Селскостопанска академия*
9. Проф. д-р инж. Елена Пенева-Златкова (от 2024 г.); проф. д-р инж. Стойко Тодоров (от 2021 г.); проф. д-р Иван Марков (от 2018 г.) – *Университет по архитектура, строителство и геодезия.*

*Райна Семова – секретар на Изпълнителния съвет на Програмата.*

*Йоана Диманачка – координация и мониторинг на Програмата от страна на МОН.*

**РЪКОВОДИТЕЛИ НА РАБОТНИ ПАКЕТИ И ОТГОВОРНИЦИ  
НА НАУЧНИ ЗАДАЧИ НА НАЦИОНАЛНАТА  
НАУЧНА ПРОГРАМА**

**„Опазване на околната среда и намаляване на риска от  
неблагоприятни явления и природни бедствия“**

**декември 2018 – декември 2024 г.**

**РП.І.1.** Регионални/локални характеристики на климата на страната.

Ръководител: проф. д-р Георги Гаджев

РПП.1.1. Бази данни и регионални/локални климатични модели. Отговорник: чл.-кор. Николай Милошев

РПП.1.2. Компютърни симулации и анализ на бъдещите регионални климати на Балканския полуостров и страната. Отговорник: проф. д-р Г. Гаджев

РПП.1.3. Оценка и анализ на някои въздействия на текущия и бъдещите регионални/локални климати на Балканския полуостров и страната. Отговорник: проф. д-р. Валери Спиридонов

РПП.1.4. Въздействие на климатичните промени върху горските екосистеми. Отговорник: проф. д-р Маргарита Георгиева

РП.І.1.5. Локални характеристики на климата на София. Изследване на чистотата на атмосферния въздух, концентрациите на фини прахови частици, височината на атмосферния граничен слой и оптичните характеристики на атмосферни аерозоли над населено място. Отговорник: проф. д-р Пламен Савов

РП.І.1.6. Методология за оценка на обектите от критичната инфраструктура на национално ниво и рисковете за тяхната устойчивост. Отговорник: чл.-кор. Стефан Хаджитодоров

**РП.І.2.** Воден баланс и водни ресурси на страната. Ръководител: проф. д-р Емил Бурназки

РП І.2.1. Водните ресурси на България и тяхното използване в сравнение със страните от ЕС. Отговорник: доц. д-р инж. Галя Бърдарска



РП I.2.2. Пилотно изследване за водния ресурс в басейна на р. Янтра.  
Отговорник: доц. д-р инж. Ваня Йончева

РП I.2.3. Пилотно изследване на водния ресурс и неговото използване  
в басейна на трансграничната река Места. Отговорник: проф. д-р Е.  
Бурназки

РП I.2.4. Формиране и оценка на подземните водни ресурси на Бълга-  
рия. Отговорник: доц. д-р Петър Гергинов (до 09.2019 г. проф. д-р  
Алексей Бендерев)

РП I.2.5. Оценка на националните водни ресурси и прогнози за измене-  
нието им в условията на изменение на климата. Отговорник: доц. д-р  
инж. Олга Ничева

**РП.I.3.** Качество на националните водни ресурси (повърхностни и под-  
земни). Ръководител: доц. д-р Мариан Върбанов

РП I.3.1. Формиране и качество на повърхностите води в страната. Отго-  
ворник: доц. д-р М. Върбанов

РП I.3.2. Формиране и качество на подземните води в страната. Отго-  
ворник: проф. д-р Владимир Христов

РП I.3.3. Методи за определяне на качеството на водните ресурси. Отго-  
ворници: проф. д-р Богдана Куманова, доц. Дияна Рабаджиева и доц.  
д-р Апостолос Апостолу

РП I.3.4. Пилотни изследвания в избран водосборен басейн и за обекти  
с различни природни и антропогенни условия за формиране на ка-  
чеството на водите. Отговорник: доц. д-р Светлана Браткова

РП I.3.5. Управление, координация и съвместни дейности с други ра-  
ботни пакети по програмата. Отговорник: доц. д-р М. Върбанов

**РП.I.4.** Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции  
и услуги в крайбрежната зона и българската икономическа зона на  
Черно море. Ръководител: доц. д-р Николай Вълчев (проф. д-р Сне-  
жана Мончева до 2022 г.)

РП I.4.1. Оценка и мерки за намаляване на риска от влиянието на небла-  
гоприятни и екстремни хидрометеорологични събития върху брего-  
вата среда. Отговорник: доц. д-р Н. Вълчев

- РП.І.4.2. Многогодишни изменения на физичните фактори на морската среда в Черно море пред българския бряг и оценка на потенциалния риск за състоянието на екосистемата. Отговорник: гл. ас д-р Надежда Вълчева
- РП.І.4.3. Процеси, генериращи геоложки рискови явления, промени в черноморското ниво и екологични последствия за басейна. Отговорник: доц. д-р Орлин Димитров
- РП.І.4.4. Оценка и анализ на условията за марикултура от руска есетра (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt et Ratzeburg 1833) с цел възстановяване на дивите популации и компенсиране на антропогенния натиск от рибарството върху морската среда. Отговорник: доц. д-р Виолин Райков
- РП.І.4.5. Оценка на въздействието на рибарството върху генетичното разнообразие на популациите на калкана (*S. maximus*) пред българския бряг. Отговорник: доц. д-р Петя Иванова
- РП.І.4.6. Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и Българската икономическа зона на Черно море. Отговорник: доц. д-р Венцислав Карамфилов
- РП.І.5. Качеството на живот в страната. Ръководител: доц. д-р Ренета Димитрова**
- РП.І.5.1. База данни. Отговорник: проф. д-р Георги Гаджев
- РП.І.5.2. Анализ на ЗС на населението с цел разкриване на връзките му с ВС и ГВС. Отговорник: проф. д-р Цвета Георгиева
- РП.І.5.3. Мултимасщабни симулации, получаване на мултисценариев ансамбъл от числени симулации. Отговорник: доц. д-р Р. Димитрова
- РП.І.5.4. Оценка и анализ на влиянието на характеристиките на ВС в страната и ГВС в София върху КЖ и ЧЗ. Отговорник: гл. ас. д-р Владимир Иванов
- РП.І.5.5. Анализ и прогноза на пространствено-времето разпределение на биологически активната UV радиация в страната. Отговорник: чл.-кор. Николай Милошев
- РП.І.5.6. Екологичен мониторинг на радиационната обстановка в приземния атмосферен слой. Отговорник: проф. д-р Димитър Тонев

РП.І.5.7. Лидарно сондиране на атмосферата. Отговорник: доц. д-р Тая Драйшу

**РП.І.6.** Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото – ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата. Ръководител: проф. д.н. Кристалина Стойкова

РП.І.6.1. Климатични събития през палеозойската ера. Отговорник: проф. д-р Илияна Бончева / доц. д-р Валери Сачански (2024 г.)

РП.І.6.2. Раннотоарско аноксично събитие (183.6 – 181.6 млн. г.). Отговорник: доц. д-р Любомир Методиев

РП.І.6.3. Валанжинско океанско аноксично събитие „Вайсерт“ (134.6 – 134.3 млн. г.). Отговорник: проф. д-р Дария К. Иванова

РП.І.6.4. Кампан-мастрихтско климатично захлаждане (73 – 71 млн. г.). Отговорник: проф. д.н. Кр. Стойкова

РП.І.6.5. Палеоцен-еоценски термален максимум (55,5 – 56 млн. г.). Отговорник: проф. дн Кр. Стойкова

РП.І.6.6. Еоцен-олигоценски суперерупции в Родопския масив и тяхното отражение върху регионалните и глобалните климатични и биотични промени (34 – 33 млн. г.). Отговорник: проф. д.н. Петър Марчев

РП.І.6.7. Екстремни климатични промени и критични събития в сухоzemните екосистеми през палеогена и неогена (65 – 2 млн. г.). Отговорник: чл.-кор. Димитър Иванов

РП.І.6.8. Климатични промени в Източния паратетис през миоцена (23 – 5 млн. г.). Отговорник: проф. д-р Надя Огнянова-Руменова

РП.І.6.9. Климатични промени през кватернера (2 млн. г. – днес). Отговорник: проф. д.н. инж. Димитър Синьовски

РП.І.6.10. Геоложки записи на кватернерни климатични промени. доц. д-р Явор Шопов

РП.І.6.11. Промените в растителността на територията на България през късния плейстоцен и холоцен – ключ за прогнозиране на изменението на екосистемите при климатични промени и антропогенен натиск. Отговорник: чл.-кор. Д. Иванов

- РП.І.6.12. Палеолимнологично проучване на кватернерни езерни седименти от високопланински езера в Рила и Пирин планина. Отговорник: проф. д-р Надя Огнянова-Руменова
- РП.І.7.** Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда. Ръководител: доц. д-р Анна Ганева
- РП.І.7.1. Промени в природните местообитания в резултат на климатични и антропогенни въздействия. Отговорник: доц. д-р Анна Ганева
- РП.І.7.2. Промени в числеността и размера на популациите на видове от флората, фауната и микотата, чувствителни към климатични промени. Отговорник: проф. д-р Светлана Николова
- РП.І.7.3. Разработване на Национална система за ранно откриване и предупреждение за чужди видове. Отговорник: доц. д-р Владимир Владимиров
- РП.І.7.4. Състояние на биологичните ресурси в условията на променяща се околна среда. Отговорник: проф. д-р Цветомир Денчев
- РП.І.7.5. Генетични, епигенетични и физиолого-биохимични основи на устойчивостта на растенията към неблагоприятни условия на околната среда. Отговорник: проф. д-р Валя Василева
- РП.І.7.6. Изследване на системата „почва – растение“ в райони с повишена антропогенна активност. Отговорник: проф. д-р Стефан Цаковски
- РП.І.7.7. Растителните инвазивни видове като ресурс на ценни биологично активни вещества. Отговорник: гл. ас. д-р Теодора Тодорова
- РП.І.7.8. Създаване и тестване с теренни данни на пространствена база данни за биоразнообразие и екосистеми. Отговорник: проф. д.н. Бойко Георгиев
- РП.І.7.9. Управление на природните ресурси (почви и растения) във връзка с опазване биоразнообразието на земеделските екосистеми при устойчиво производство на безопасна продукция. Отговорник: проф. д-р Драгомир Вълчев
- РП.І.7.10. (2023 и 2024 г.) Прецизиране на разпространението и разработване на специфични и подробни природозащитни цели за обектите на опазване в защитена зона BG0000636 „Ниска Рила“ от мрежата „Натура 2000“ в България. Отговорник: доц. д-р Симеон Луканов

- РП.І.8.** Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления. Ръководител: доц. д-р Биляна Борисова (доц. д-р Стелиян Димитров до 2022 г.)
- РП.І.8.1. Анализ на опита и прилаганите решения при оценката на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления. Отговорник: доц. д-р Стелиян Димитров
- РП.І.8.2. Информационно осигуряване и създаване на интегрирана геопространствена база данни за оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления. Отговорник: доц. д-р Ст. Димитров
- РП.І.8.3. Методи и модели за оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни явления. Отговорник: проф. д-р Нина Николова
- РП.І.8.4. Изследване, моделиране и оценка на опасността и риска от пожари. Отговорник: доц. д-р Нина Добринкова
- РП.І.8.5. Методи и модели за оценка на опасността от наводнения и други неблагоприятни/катастрофални хидросферни явления. Отговорник: проф. д-р Николай Лисев
- РП.І.8.6. Екологични последствия и екосистемни услуги за регулиране на опасността от неблагоприятни явления. Отговорник: доц. д-р Б. Борисова
- РП.І.8.7. Методи и модели за оценка на риска (човешки ресурси, сграден фонд, инфраструктура, икономически сектори. Отговорник: проф. д-р Климент Найденов
- РП.І.8.8. Технологични решения за изследване на опасността и системи за ранно предупреждение. Отговорник: проф. д-р Росица Величкова
- РП.І.9.** Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления. Ръководител: доц. д-р Бойко Беров (проф. д-р Николай Добрев до 2020 г.)
- РП.І.9.1. Опасни геоложки процеси: разпространение, фактори и особености. Отговорник: проф. д-р Н. Добрев
- РП.І.9.2. Развитие и разпространение на опасни геоложки явления в България (свладища, срутища, кално-каменни порои) в условията на

климатични промени. Отговорник: проф. д-р Нина Николова

РП.І.9.3. Активни разломи, свързани с тях теренни деформации и райониране на терените по възможна проява на вторични сеизмогенни деформации. Отговорник: проф. д-р Стефчо Стойнев

РП.І.9.4. Мониторинг на опасни геоложки процеси и системи за ранно предупреждение. Отговорник: проф. д-р Н. Добрев

РП.І.9.5. Оценка на въздействието на опасни геоложки процеси върху околната среда. Отговорник: доц. д-р Б. Беров

**РП.І.10.** Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях. Ръководител: чл.-кор. Димчо Солаков

РП.І.10.1. Бази данни. Отговорник: чл.-кор. Д. Солаков

РП.І.10.2. Определяне на зони с възможност за генериране на силни земетресения. Отговорник: доц. д-р Стела Симеонова

РП.І.10.3. Оценка на вероятността за реализация на екстремални сеизмични събития. Отговорник: чл.-кор. Д. Солаков

РП.І.10.4. Сеизмични сценарии за зони с потенциал за силни земетресения. Отговорник: доц. д-р Ст. Симеонова

РП.І.10.5. Оценка на последствията от силни земетресения. Отговорник: доц. д-р Димитър Стефанов

РП.І.10.6. Анализ на процедурите и правилата за действие в случай на земетресение. Отговорник: доц. д-р Петя Трифонова

**РП.І.11.** (2021 г.) Разработване на специфични и подробни природозащитни цели на ниво защитена зона за 13 защитени зони от мрежата „Натура 2000“ в България. Ръководител: проф. д-р Ива Апостолова

**РП.ІІ.1.** Създаване на единна геоинформационна среда. Ръководител: доц. д-р Стелян Димитров (проф. д-р Антон Попов до 2022 г.)

РП.ІІ.1.1. Проучване на нуждите и обезпечеността с геопространствени данни и информационни ресурси. Отговорник: проф. д-р Боян Кулов

РП.ІІ.1.2. Разработване на единни изисквания към участниците относно качеството, форматите и стандартите на геоинформационните ре-

сурси и свързаните с тях метаданни. Отговорник: проф. д-р Антон Попов

РП.П.1.3. Проектиране и изграждане на интегрирана геобаза данни.

Отговорник: доц. д-р Ст. Димитров

РП.П.1.4. Осигуряване на изчислителна среда за използване на

най-съвременни числени, динамични и статистически модели. Отговорник: проф. д-р Тодор Гюров

РП.П.1.5. Разработване на ГИС съвременно приложение на НП, осигуря-

ващо технологични и аналитични възможности за специализирани геоинформационни услуги. Отговорник: доц. д-р Ст. Димитров

**РП.П.3.** Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (постепенно и след края на програмата). Ръководител: проф. д-р Боян Кулов

РП.П.3.1. Комуникация на резултатите от проекта с изследователски

групи от други научни области. Отговорник: доц. д-р Велимира Стоянова

РП.П.3.2. Разпространение на знания в рамките на международната

изследователска общност. Отговорник: проф. Б. Кулов (гл. ас. д-р Александра Равначка до 2020 г.)

РП.П.3.3. Принос към дейностите по разработване на публични и частни

политики. Отговорник: проф. д-р Б. Кулов

РП.П.3.4. Комуникация с широката общественост. Отговорник: проф.

д-р Б. Кулов (гл. ас. д-р Ал. Равначка до 2020 г.)

РП.П.3.5. Разпространение на знания в педагогическата практика. Отго-

ворник: доц. д-р В. Стоянова



**УЧАСТНИЦИ В НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА**  
**„Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“**  
**декември 2018 – декември 2024 г.**

<b>Българска академия на науките (БАН)</b> <b>НИГГГ, ГИ, ИИКАВ, ИОНХ, ИИКТ, ИБЕИ, ИМех, ЦИНСО, ИО, ИЯИЯЕ, ИОРГ, ИГ, ИЕ</b>	
1. Аглаида Тотева, докт.	173. Крум Шуманов, инж.
2. Албена Ватралова, гл. ас. д-р инж.	174. Лилия Вълкова, физик
3. Албена Власева, гл. ас. д-р	175. Лора Стоева, ас. д-р
4. Александра Равначка, гл. ас. д-р	176. Лъчезар Пехливанов, доц. д-р
5. Александър Илиев, ас. д-р	177. Лъчезар Якимов
6. Александър Стрезов, проф. д.х.н.	178. Люан Гърдев, доц. д-р
7. Алексей Бендерев, проф. д-р	179. Любен Добрев, гл. ас. д-р
8. Анастас Маджаров, д-р	180. Любомир Димитров, проф. д-р
9. Ангел Дюгмеджиев, гл. ас. д-р	181. Любомир Методиев, доц. д-р
10. Андриана Златкова, ас.	182. Любомира Георгиева, студент
11. Анелия Костадинова, биолог	183. Людмила Лозанова
12. Анета Христова, ас.	184. Магдалена Вълчева, гл. ас. д-р
13. Анна Ганева, доц. д-р	185. Магдалена Златанова, спец.
14. Анна Лазарова, гл. ас. д-р	186. Майкъл Санди, проф. емеритус д-р
15. Антоанета Францова, доц. д.н.	187. Майя Стойнева, проф. д.б.н.
16. Антонина Ковачева, ас.	188. Малина Делчева, гл. ас. д-р
17. Апостолос Апостолу, доц. д-р	189. Маргарита Георгиева, проф. д-р
18. Атанас Атанасов	190. Мариан Върбанов, доц. д-р
19. Атанас Василев, доц. д-р	191. Марина Панайотова, доц. д-р
20. Атанас Китев, гл. ас. д-р	192. Мария Глушкова, доц. д-р
21. Атанас Мачев	193. Мария Грозева, проф. д-р
22. Атанас Радев	194. Мария Качамакова, ас.
23. Атанаска Делева, доц. д-р	195. Мария Керакова-Гелева, гл. ас. д-р

Национална научна програма

24. Атидже Ахмед, гл. ас. д-р	196. Мария Проданова, гл. ас. д-р
25. Бистра Юперлиева-Матеева, биолог	197. Мария Тодорова, гл. ас. д-р
26. Благой Узунов, доц.	198. Мария Янкова, доц. д-р
27. Богдан Проданов, гл. ас. д-р	199. Марияна Георгиева, гл. ас. д-р
28. Божидар Славчев, гл. ас.	200. Марияна Николова, проф. д-р
29. Бойка Михайлова, ас.	201. Марлена Янева, проф. д-р
30. Бойко Беров, доц. д-р	202. Мартин Димитров, гл. ас. д-р
31. Бойко Велинов	203. Методи Методиев, гл. ас. д-р
32. Бойко Георгиев	204. Миглена Жиянски, проф. д-р
33. Борис Асьов, доц. д-р	205. Мила Александрова-Ихтиманска, биолог
34. Борис Велков, биолог	206. Мила Андонова, ас., докт.
35. Борис Николов, доц. д-р	207. Мила Тасева, докт.
36. Борислав Наумов, доц. д-р	208. Мила Траянова, докт.
37. Боряна Джурова, еколог	209. Мила Чиликова-Любомирова, доц. д-р
38. Боряна Сиджимова, гл. ас. д-р	210. Милена Николова, доц. д-р
39. Боян Златков, гл. ас. д-р	211. Милчо Тодоров, проф. д-р
40. Боян Кулов, проф. д-р	212. Мира Георгиева, гл. ас. д-р
41. Боян Мичев, спец.	213. Мирослав Кръстанов, доц. д-р
42. Валентин Панайотов	214. Мирослав Славчев, гл. ас. д-р
43. Валентин Стоянов	215. Михаела Бешкова, доц. д-р
44. Валентина Дончева, доц. д-р	216. Михаил Кечев, доц. д-р
45. Валентина Кирякова,	217. Моника Събева, биолог
46. Валентина Протопопова, гл. ас. д-р	218. Надежда Апостолова-Стоянова, ас.
47. Валентина Тодорова, доц. д-р	219. Надежда Вълчева, гл. ас. д-р
48. Валери Георгиев, спец.	220. Надежда Друмева, еколог
49. Валя Василева, проф. д-р	221. Надя Огнянова-Руменова, проф. д-р
50. Ваня Йончева, доц. д-р инж.	222. Наталия Андреева, гл. ас. д-р
51. Васил Василев	223. Наталия Слабакова, еколог
52. Васил Павлевчев	224. Невена Иванова, гл. ас. д-р
53. Васил Попов, проф. д-р	225. Недко Неद्याков

54. Василиса Манова, гл. ас. д-р	226. Нешо Чипев
55. Велимира Стоянова, доц. д-р	227. Николай Велев, доц. д-р
56. Венцислав Карамфилов, доц. д-р	228. Николай Вълчев, доц. д-р
57. Вержиния Варийска, химик	229. Николай Гутев, доц. д-р
58. Веселин Иванов, докторант	230. Николай Добрев, проф. д-р
59. Веселка Гюлева, доц. д-р	231. Николай Зафиров гл. ас. д-р
60. Веселка Цавкова, ас.	232. Николай К. Витанов, проф. д.н.
61. Виолета Великова, проф. д-р	233. Николай Караиванов, спец.
62. Виолета Слабакова, инж.	234. Николай Милошев, чл.-кор.
63. Виолета Тюфекчиева, гл. ас. д-р	235. Николай Павлов, д-р
64. Виолин Райков, доц. д-р	236. Николета Сотирова, докт.
65. Влада Пенева, проф. д-р	237. Николина Грибачева, гл. ас. д-р
66. Владимир Бозуков, доц. д-р	238. Нина Джембекова, д-р
67. Владимир Владимиров, доц. д-р	239. Нина Добринкова, доц. д-р
68. Владимир Димитров, ас.	240. Нина Николова, гл. ас. д-р
69. Владимир Иванов, гл. ас. д-р	241. Нина Филипова, доц. д-р инж.
70. Владимир Тодоров, спец.	242. Огняна Христова, химик
71. Владимир Христов, проф. д-р	243. Олга Ничева, доц. д-р инж.
72. Владислав Вергилов	244. Орлин Димитров, доц. д-р
73. Вълко Бисерков, проф. д-р	245. Петър Гергинов, доц. д-р
74. Вълко Стойков, програмист	246. Петър Димов, гл. ас. д-р
75. Галин Господинов, спец.	247. Петър Марчев, проф. д.н.
76. Галя Бърдарска, доц. д-р инж.	248. Петър Николов, гл. ас. д-р
77. Галя Георгиева, биолог	249. Петър Пецински, докт. инж.
78. Георги Белев, ас. д-р	250. Петър Шурулинков, доц. д-р
79. Георги Бончев, доц. д-р	251. Петя Ефтимова, океанолог
80. Георги Гаджев, проф. д-р	252. Петя Иванова, доц. д-р
81. Георги Георгиев, гл. ас. д-р	253. Петя Първанова, гл. ас. д-р
82. Георги Георгиев, проф. д.н.	254. Петя Трифонова, доц. д-р
83. Георги Грънчовски, ас. д-р	255. Петя Чапеева

Национална научна програма

84. Георги Коларов, физик	256. Пламен Глогов, доц. д-р
85. Георги Кръстев, докт.	257. Пламен Иванов, гл. ас. д-р
86. Георги Попгеоргиев	258. Пламен Иванов, проф. д-р
87. Георги Хинков, доц. д-р	259. Пламен Мирчев, чл.-кор.
88. Гергана Георгиева, инж.	260. Пламен Мухтаров
89. Гергана Заемджикова гл. ас. д-р	261. Пламена Райкова, доц. д-р
90. Гергана Методиева, гл. ас. д-р	262. Полина Андреева, доц. д-р
91. Григор Зехиров, доц. д-р	263. Полина Никова, спец.
92. Груд Попов, доц. д-р	264. Поля Добрева, доц. д-р
93. Даниела Иванова, гл. ас. д-р	265. Преслав Пеев, доц. д-р
94. Дария Иванова, проф. д-р	266. Радан Иванов, доц. д-р инж.
95. Дебора Сталева, студент	267. Радка Фикова
96. Деница Кънчева, докт.	268. Радко Михайлов, доц. д.т.н.
97. Десислава Сопотлиева, доц. д-р	269. Радослав Накров, проф. д-р
98. Десислава Тодорова, доц. д-р	270. Радост Илиева, химик
99. Десислава Христова, географ	271. Радостина Атанасова, доц. д-р
100. Детелина Белкинова, доц. д-р	272. Райна Начева, доц. д-р
101. Диана Рабаджиева, доц. д-р	273. Райна Христова, доц. д-р
102. Димитър Антонов, доц. д-р	274. Рая Райчева, ас. д-р
103. Димитър Беров, гл. ас. д-р	275. Росица Иванова, доц. д-р
104. Димитър Димитров, доц. д-р	276. Росица Янева, гл. ас. д-р
105. Димитър Димов, в.п.с.	277. Ростислав Бекчиев, доц. д-р
106. Димитър Иванов, чл.-кор.	278. Румен Томов, проф. д-р
107. Димитър Сираков, проф. д.н.	279. Румяна Божилова, гл. ас. д-р
108. Димитър Стефанов, доц. д-р	280. Румяна Вацева, проф. д.н.
109. Димитър Стоянов, проф. д.ф.н.	281. Румяна Гергулова, химик
110. Димитър Тонев, проф. д-р	282. Руслан Сербезов, ас., програмист
111. Димчо Солаков, чл.-кор.	283. Сава Колев, гл. ас. д-р
112. Донка Шопова, ас. инж.	284. Светлана Банчева, проф. д-р
113. Драган Чобанов, проф. д-р	285. Светлана Николова, проф. д-р

114. Екатерина Бъчварова, чл.-кор.	286. Светозар Маджов, гл. ас. д-р
115. Елена Гелева, гл. ас. д-р	287. Светослав Христов
116. Елена Колева-Рекалова, проф. д-р	288. Свилен Борисов, гл. ас. инж.
117. Елена Николова, доц. д-р	289. Севдалин Белилов, ас., докт.
118. Елена Семерджиева	290. Силвия Петрова, гл. ас. д-р
119. Елена Тодорова, гл.ас. д-р	291. Симеон Вълчев, докт.
120. Елена Шопова, гл. ас. д-р	292. Симеон Луканов, доц. д-р
121. Ели Павлова-Трайкова, ас.	293. Сирма Зидарова, гл. ас. д-р
122. Елица Стефанова, гл. ас. д-р	294. Снежана Мончева, проф. д-р
123. Елица Хинева, гл. ас. д-р	295. Соня Цонева, спец.
124. Емил Ботев, проф. д-р	296. София Ивановска, доц. д-р
125. Емил Бурназки, проф. д-р	297. Стела Гюдорова, докт.
126. Емил Ойнаков, ас. д-р	298. Стела Симеонова, доц. д-р
127. Емил Попов, доц. д-р	299. Стефан Генчев, гл. ас. д-р
128. Емилия Варадинова доц. д-р,	300. Стефан Казаков, гл. ас. д-р
129. Емилия Вачева, ас.	301. Стефан Стефанов, докт.
130. Емилия Черкезова, доц. д-р	302. Стефан Франгов, инж. геол., докт.
131. Жана Митровска, химик	303. Стефан Хаджитодоров, чл.-кор.
132. Захари Пешев, доц. д-р	304. Стефания Клайн
133. Звезделина Айдарова, докт.	305. Стефка Тепавичарова, доц. д-р
134. Звезделина Марчева, гл. ас. д-р	306. Стефка Чанкова, проф. д-р
135. Ива Апостолова, проф. д-р	307. Стоян Кюркчиев, географ д-р
136. Ивайло Марков, доц. д-р	308. Стоян Недков, проф. д-р
137. Иван Генов, доц. д-р	309. Стоян Стоянов, доц. д-р
138. Иван Григоров, ас. д-р	310. Сълза Палпурина, гл. ас. д-р
139. Иван Иванов, проф. д.т.н. инж.	311. Таня Василева, ас. д-р
140. Иван Маринов, проф. д.н.	312. Таня Драйшу, доц. д-р
141. Иван Пандурски, доц. д-р	313. Таня Тренкова, ас.
142. Ивелина Георгиева, доц. д-р	314. Татяна Орехова, доц. д-р
143. Ивелина Златева, гл. ас. д-р	315. Татяна Станкова, доц. д-р

Национална научна програма

144. Илиана Тодорова, ас., докт.	316. Теодор Денчев, доц. д-р
145. Илиана Бончева, проф. д-р	317. Теодора Иванова, гл. ас. д-р
146. Ина Анева, доц. д-р	318. Теодора Обрешкова
147. Ирена Александрова, доц. д-р	319. Теодора Тричкова, доц. д-р
148. Ирина Бойчева, гл. ас. д-р	320. Тодор Арсов, физик
149. Ирина Васева, доц. д-р	321. Тодор Гюров, проф. д-р
150. Ирина Кръстева, спец.	322. Тодор Ламбев, докт. инж.
151. Ирина Лазаркевич, гл. ас. д-р	323. Тодор Христов, проф. д-р инж.
152. Искра Лакова, проф. д-р	324. Тошко Любомиров, доц. д-р
153. Искрен Сергиев, доц. д-р	325. Христина Калчева, гл. ас. д-р
154. Йоанна Георгиева	326. Христина Проданова, гл. ас. д-р
155. Йонко Додев, гл. ас. д-р	327. Христина Цветкова, гл. ас. д-р
156. Йорг Мутерлозе, проф.	328. Христо Ангелов, доц. д-р
157. Йордан Кошев, гл. ас. д-р	329. Христо Киселинов, гл. ас. д-р
158. Йордан Милков, спец.	330. Христо Протохристов, доц. д-р
159. Йордан Раев, докт.	331. Цвета Христова, проф. д-р
160. Калин Найденов, доц. д-р	332. Цветан Златанов, проф. д-р
161. Камен Илиев	333. Цветан Остромски, доц. д-р
162. Кирил Василев, доц. д-р	334. Цветана Нонова, доц. д-р
163. Константин Костов, доц. д-р	335. Цветелина Терзийска, спец. д-р
164. Костадин Андонов, докт.	336. Светомир Денчев, проф. д-р
165. Костадин Катранджиев	337. Чавдар Гусев, спец.
166. Красимир Бояджиев, биолог	338. Юлия Босева, техник-биолог
167. Красимира Славова, гл. ас. д-р	339. Юлия Крумова, гл. ас. д-р
168. Крася Колчева, гл. ас. д-р инж.	340. Явор Чапанов, проф. д.т.н.
169. Кремена Гочева, докт.	341. Яна Връбчева
170. Кремена Стефанова, доц. д-р	342. Янка Пресолска, доц. д-р
171. Кристалина Стойкова, проф. д.н.	343. Ясен Мутафчиев, доц. д-р
172. Кристина Гърциянова, доц. д-р	

<b>Софийски университет „Св. Климент Охридски“</b>	
<b>Факултети: ГФО, ФЗО, БО, ФОФ, ИФ</b>	
1. Албена Гьонова, доц. д-р	50. Илиян Илиев, доц. д-р
2. Александър Василев, докт.	51. Ирина Ганчева, докт.
3. Алина Даскалова-Рачева, докт.	52. Ирина Шнайдер, доц. д-р
4. Антон Попов, проф. д-р	53. Йована Тодорова, доц. д-р
5. Антон Филипов, доц. д-р	54. Калин Сейменов, докт.
6. Асен Асенов, проф. д-р	55. Калина Пачеджиева, гл. ас. д-р
7. Атанас Чаталов, проф. д-р	56. Калина Радева, доц. д-р
8. Биляна Борисова, доц. д-р	57. Климент Найденов, проф. д.н.
9. Борис Ценов, биолог	58. Кристиан Панайотов, докт.
10. Борислав Григоров, доц. д-р	59. Кръстьо Димитров, гл. ас. д-р
11. Боряна Щиркова, студент	60. Леонид Тодоров, гл. ас. д-р
12. Боян Тодоров, гл. ас. д-р	61. Лидия Семерджиева, докт.
13. Валентин Бучакчиев, студент	62. Любомир Костадинов, докт.
14. Валентина Любомирова, гл. ас. д-р	63. Людмил Цанков, доц. д-р
15. Васил Маринов, проф. д-р	64. Магдалена Богданова, докт.
16. Венислава Спасова, гл. ас. д-р	65. Маргрет Велизарова, докт.
17. Венцеслав Делов, доц. д-р	66. Марин Иванов, проф. д-р
18. Венцислав Данчовски, гл. ас. д-р	67. Мария Баръмова, доц. д-р
19. Венцислава Чепишева, докт.	68. Марияна Асенова, проф. д-р
20. Вероника Михайлова, гл. ас. д-р	69. Мартин Илиев, ас.
21. Виктор Гущеров, д-р	70. Методи Иванов, доц. д-р
22. Виктор Леви, докт.	71. Милена Георгиева, гл. ас. д-р
23. Габриела Петрова, гл. ас. д-р	72. Мирна Матов, докт.
24. Галина Йотова, доц. д-р	73. Михаил Николов, ас.
25. Георги Рачев, проф. д-р	74. Моника Манолова, докт.
26. Гергана Георгиева, гл. ас. д-р	75. Невена Коларова, гл. ас. д-р
27. Грета Георгиева, докт.	76. Нели Христова, проф. д-р
28. Даниела Златунова, доц. д-р	77. Никола Станчев, студент



29. Даниела Николова, проф. д-р	78. Николай Рачев, доц. д-р
30. Данко Иванов, физик	79. Нина Николова, проф. д-р
31. Денис Градинаров, гл. ас. д-р	80. Нора Динова, гл. ас. д-р
32. Диан Вангелов, проф. д-р	81. Огнян Сивилов, биолог
33. Димитър Желев, доц. д-р	82. Петко Божков, гл. ас. д-р
34. Димитър Кренчев, гл. ас. д-р	83. Раденка Митова, доц. д-р
35. Дочо Дочев, гл. ас. д-р	84. Ренета Димитрова, доц. д-р
36. Драгомир Драгомиров, студент	85. Росен Цонев, проф. д-р
37. Евгени Владимиров, докт.	86. Росица Кендерова, проф. д-р
38. Евгения Егова, докт.	87. Симеон Матев, гл. ас. д-р
39. Елена Ташева, доц. д-р	88. Славка Георгиева, гл. ас. д-р
40. Елена Цингарска, докт.	89. Стелиян Димитров, доц. д-р
41. Елисавета Пенева, доц. д-р	90. Стефан Петров, гл. ас. д-р
42. Зорница Доцева, гл. ас. д-р	91. Стефан Цаковски, проф. д-р
43. Зорница Чолакова, доц. д-р	92. Стоян Георгиев, докт.
44. Ивайло Йотинов, доц. д-р	93. Таня Стоилкова-Илиева, гл. ас. д-р
45. Иван Пенков, доц. д-р	94. Христо Попов, гл. ас. д-р
46. Иван Трайков, доц. д-р	95. Явор Шопов, доц. д-р
47. Иво Ихтимански, ас.	96. Яна Топалова, проф. д-р
48. Илия Гьонов, гл. ас. д-р	97. Янко Герджиков, проф. д-р
49. Илия Попстоянов, студент	

**Селскостопанска академия (ССА)**

**ИПАЗР, АБИ, ИРА – Пловдив, ИЗК „Марица“, ИЗ – Карнобат, ИЗ – Кюстендил**

1. Ангел Зайков, проф. д-р	18. Мария Ковачка, сп.
2. Ангелина Иванова, доц. д-р	19. Мария Юнакова, инж.
3. Анита Стоева, ас. д-р	20. Мила Русанова, постдокторант
4. Боряна Дюлгерова, доц. д-р	21. Нели Гаджалска, доц. д-р
5. Валя Димитрова, еколог	22. Николай Динев, проф. д.н.

6. Василка Кръстева, ас.	23. Николай Христов, доц. д-р
7. Виктория Кънева, инж.	24. Нина Ненова, доц. д-р
8. Галина Михова, доц. д-р	25. Румяна Велчева, техник
9. Галина Певичарова, проф. д-р	26. Симеон Крумов, гл. ас. д-р
10. Даниела Ганева, доц. д-р	27. Станислава Грозева-Тилева, доц. д-р
11. Дарина Вълчева, проф. д-р	28. Станислава Димитрова, гл. ас. д-р
12. Димитър Сотиров, доц. д-р	29. Татяна Петрова, доц. д-р
13. Драгомир Вълчев, проф. д-р	30. Татяна Хубенова, проф. д-р
14. Иван Атанасов, проф. д.н.	31. Тодорка Тонева, доц. д-р
15. Константин Дочин, доц. д-р	32. Цветелина Загорчева, ас. д-р
16. Красимир Русанов, доц. д-р	33. Цецка Симеонова, доц. д-р
17. Маргарита Нанкова, проф. д-р	

**Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ (МГУ)**

1. Александър Христов, инж. геол.	18. Ина Попова, гл. ас. д-р
2. Александър Чаначев, гл. ас. д-р	19. Калинка Величкова, гл. ас. д-р
3. Анатолий Ангелов, доц. д-р	20. Любомир Джерахов, гл. ас. д-р
4. Андрей Гинин, инж. геол.	21. Маринела Панайотова, проф. д-р
5. Антонио Лаков, доц. д-р.	22. Мая Вацкичева, доц. д-р
6. Аспарух Камбуров, доц. д-р	23. Николай Колев, доц. д-р
7. Атанас Кисьов, гл. ас. д-р	24. Николай Стоянов, проф. д-р
8. Бойко Рангелов, проф. д-р	25. Нина Рангелова, инж. геол.
9. Борис Вълчев, доц. д-р	26. Пламен Савов, проф. д-р
10. Валентина Николова, доц. д-р	27. Радостина Ризова-Джоза, гл. ас. д-р
11. Валери Сачански, доц. д-р	28. Росен Иванов, гл. ас. д-р
12. Виктория Тенева, инж. геол.	29. Светлана Браткова, доц. д-р
13. Димитър Синьовски, проф. д.н. инж.	30. Стефан Димовски, проф. д-р
14. Димитър Съчков, гл. ас. д-р	31. Стефан Зейнелов, ас.
15. Димка Синьовска, маг.-инж.	32. Стефка Приставова, проф. д-р

16. Емануела Малинкова, ас.	33. Стефчо Стойнев, проф. д-р
17. Иван Иванов, доц. д-р	34. Стоян Танацев, ас.

**Химикотехнологичен и металургичен университет (ХТМУ)**

1. Богдана Куманова, проф. д-р инж.	6. Лина Варадинова, инж.
2. Ваня Кьосева, доц. д-р инж.	7. Петър Тодоров, доц. д-р инж.
3. Даря Илиева, гл. ас. д-р инж.	8. Силвия Лаврова-Попова, гл. ас. д-р инж.
4. Емил Михайлов, проф. д-р инж.	9. Стела Георгиева-Кискинова, гл. ас. д-р инж.
5. Коста Бошнаков, проф. д-р инж.	

**Лесотехнически университет – София (ЛТУ)**

1. Евгени Цавков, доц. д-р	3. Николай Цветанов, гл. ас. д-р
2. Момчил Панайотов, доц. д-р	4. Петър Желев, проф. д-р

**Университет по архитектура, строителство и геодезия (УАСГ)**

1. Виктория Стоилкова, инж. ас.	4. Иванка Топурова-Тодорова, гл. ас. д-р инж.
2. Владимир Кукурин, гл. ас. д-р	5. Николай Лисев, проф. д-р
3. Димитър Димитров, проф. д-р	6. Петър Николов, доц. д-р инж.

**Технически университет – София (ТУ)**

1. Георги Пичуров, доц. д-р инж.	6. Огнян Сандов, гл. ас. д-р
2. Детелин Марков, доц. д-р инж.	7. Радостина Ангелова, проф. д.т.н.
3. Елица Гиева, доц. д-р	8. Росица Величкова, проф. д-р
4. Илиана Найденова, доц. д-р	9. Цветелина Петрова, доц. д-р инж.
5. Искра Симова, доц. д-р инж.	10. Яна Стоянова, доц. д-р

<b>Национален център по обществено здраве и анализи (НЦОЗА)</b>	
1. Вера Павлова, д.н., доц. д-р	10. Мария Митрева, д.м., гл. ас. д-р
2. Веска Камбурова, д.м., доц. д-р	11. Милена Николова, гл. ас. д-р
3. Виктория Илиева, докт.	12. Савина Димитрова, д.м., гл. ас. д-р
4. Донка Димбарева, д.б., гл. ас. д-р	13. Станимира Арсова, гл. експ.
5. Емилия Мавродиева, д.м., гл. ас. д-р	14. Таня Шейтанова, д.с., гл. експ.
6. Зорница Спасова, гл. ас. д-р	15. Теменужка Антова, д.м., доц. д-р
7. Красимира Василева, д., гл. експ.	16. Теодор Панов, д.м., доц. д-р инж.
8. Красимира Дикова, д.м., доц. д-р	17. Цвета Георгиева, д.м., проф. д-р
9. Маргарита Цонева, д.м., гл. ас. д-р	

<b>Външни експерти, участвали в изпълнението на научни задачи по Програмата</b>	
1. Ангел Джамбов, доц. д-р, ПУ	11. Елена Цингарска, СДП „Балкани“
2. Андрей Богачев, доц. д-р, НИМХ	12. Илияна Йонкова, проф. д-р, МУ
3. Валери Спиридонов, проф. д-р, НИМХ	13. Ивайло Райков, НПНМ – Варна
4. Васко Гълъбов, доц. д-р, НИМХ	14. Ина Кожухарова, проф. д-р, МУ
5. Георги Георгиев, ПП „Русенски Лом“	15. Йордан Куцаров, Община Тутракан
6. Георги Гогушев, ЮДП	16. Кирил Славов, НИМХ
7. Георги Гогушев; ЮЗУ	17. Никола Дойкин, ПП „Витоша“
8. Георги Кръстев, Софийски зоопарк	18. Рилка Вълчева, ас. д-р, НИМХ
9. Дилиан Георгиев, ПУ	19. Свилен Чешмеджиев, БДЗП
10. Димитър Плачийски, БДЗП	20. Христо Червенков, доц. д-р, НИМХ

**СПИСЪК НА РЕЦЕНЗЕНТИТЕ ПО РАБОТНИ ПАКЕТИ  
НА НАЦИОНАЛНАТА НАУЧНА ПРОГРАМА  
„Опазване на околната среда и намаляване на риска  
от неблагоприятни явления и природни бедствия“  
2018 – 2024 г.**

**2019**

- РП.І.1. *Регионални/локални характеристики на климата на страната*  
1. доц. Красимир Георгиев (ИИКТ-БАН),  
2. доц. Стилиян Евтимов (СУ)
- РП.І.2. *Воден баланс и водни ресурси на страната*  
1. Доц. д-р Григор Велковски (БАН)  
2. Проф. д-р Павел Пенчев (МГУ)
- РП.І.3. *Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни)*  
1. доц. д-р Георги Железов (НИГГ-БАН)  
2. доц. д-р Тошо Минчев Кехайов (Институт по полезни изкопаеми към Комитет по геология)
- РП.І.4. *Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и Българската икономическа зона на Черно море.*  
1. доц. д-р инж. Мария Маврова-Гиргинова (УАСГ)  
2. ст.н.с. II ст. Стоян Керемедчиев (БАН)
- РП.І.5. *Качеството на живот в страната:*  
1. проф. Димитър Атанасов (НИМХ)  
2. доц. Стилиян Евтимов (СУ)
- РП.І.6. *Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото - ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата*  
1. проф. дбн Марияна Филипова (Природонаучен музей, Варна)  
2. Акад. Тодор Николов (БАН)
- РП.І.7. *Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда*  
1. доц. д-р Гана Гечева (ПУ)  
2. доц. Георги Хинков (Институт за гората, БАН)

- РП.І.8. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления*  
1. проф. д-р Богдан Казаков (УАСГ)  
2. доц. д-р Емил Гачев (ЮЗУ)
- РП.І.9. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления*  
1. проф. Радослав Върбанов (МГУ/УАСГ)  
2. проф. Дончо Карастанев (ГИ-БАН)
- РП.І.10. *Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях*  
1. проф. Петър Ставрев (МГУ)  
2. доц. Иван Бъчваров (НИГГГ-БАН)
- РП.ІІ.1. *Създаване на единна гео-информационна среда*  
1. доц. д-р Георги Железов (НИГГГ-БАН)  
2. Доц. д-р Георги Желев (ИКИТ-БАН)
- РП.ІІ.3. *Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (поетапно и след края на програмата)*  
1. Доц. Георги Железов (НИГГГ - БАН)  
2. доц. Емил Гачев (ЮЗУ)

-----  
**2020**

- РП.І.1. *Регионални/локални характеристики на климата на страната*  
проф. Красимир Георгиев (ИИКТ-БАН)
- РП.І.2. *Воден баланс и водни ресурси на страната*  
доц.д-р инж. Григор Велковски (БАН)
- РП.І.1.3. *Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни)*  
проф. дхн Васил Драгомиров Симеонов (СУ)
- РП.І.4. *Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и Българската икономическа зона на Черно море*  
доц. Елиза Узунова (СУ)
- РП.І.5. *Качеството на живот в страната*  
доц. Стилиян Евтимов (СУ)

- РП.І.6. *Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото - ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата*  
проф. дбн Марияна Филипова (Природонаучен музей, Варна)
- РП.І.7. *Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда*  
доц. Мирослава Стефанова (СУ)
- РП.І.8. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления*  
доц. д-р Георги Железов (НИГГГ-БАН)
- РП.І.9. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления*  
проф. Дончо Карастанев (ГИ-БАН)
- РП.І.10. *Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях*  
доц. Иван Бъчваров (НИГГГ-БАН)
- РП.ІІ.1. *Създаване на единна гео-информационна среда*  
доц. Александър Гиков (ИКИТ-БАН)
- РП.ІІ.3. *Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (поетапно и след края на програмата)*  
доц. Емил Гачев (ЮЗУ)
- 

## 2021

- РП.І.1. *Регионални/локални характеристики на климата на страната*  
доц. Нели Громкова (НИГГГ-БАН)
- РП.І.2. *Воден баланс и водни ресурси на страната*  
доц. д-р Елена Божилова (НИМХ)
- РП.І.3. *Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни)*  
проф. дхн Васил Симеонов (СУ)
- РП.І.4. *Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и Българската икономическа зона на Черно море*  
доц. д-р инж. Мария Маврова-Гиргинова (УАСГ)
- РП.І.5. *Качеството на живот в страната*  
доц. Стилиян Евтимов (СУ)



- РП.І.6. *Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото - ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата*  
проф. дбн Марияна Филипова (Природонаучен музей, Варна)
- РП.І.7. *Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда*  
проф. д-р Катя Георгиева (ИФРГ-БАН)
- РП.І.8. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления*  
доц. д-р Георги Железов (НИГГГ-БАН)
- РП.І.9. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления*  
проф. Дончо Карастанев (ГИ-БАН)
- РП.І.10. *Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях*  
проф. Петър Павлов (УАСГ)
- РП.І.11. *Разработване на специфични и подробни природозащитни цели на ниво защитена зона за 13 защитени зони от мрежата натура 2000 в България*  
доц. д-р Мариус Димитров (ЛТУ)
- РП.ІІ.1. *Създаване на единна гео-информационна среда*  
доц. Александър Гиков (ИКИТ-БАН)
- РП.ІІ.2. *Международно сътрудничество*  
доц. Стилиян Евтимов (СУ)
- РП.ІІ.3. *Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (поетапно и след края на програмата)*  
доц. Емил Гачев (ЮЗУ)
- 

## 2022

- РП.І.1. *Регионални/локални характеристики на климата на страната*  
доц. Нели Громкова (НИГГГ-БАН)
- РП.І.2. *Воден баланс и водни ресурси на страната*  
доц. д-р инж. Григор Велковски (ИВП-БАН)
- РП.І.3. *Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни)*  
проф. дгн Георги Алексиев (НИГГГ-БАН)

- РП.І.4. *Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и Българската икономическа зона на Черно море*  
доц. Галерида Райкова (СУ)
- РП.І.5. *Качеството на живот в страната*  
проф. Димитър Атанасов (НИМХ)
- РП.І.6. *Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото - ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата*  
проф. дбн Марияна Филипова (Природонаучен музей, Варна)
- РП.І.7. *Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда*  
доц. Силвена Ботева (СУ)
- РП.І.8. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления*  
доц. д-р Георги Железов (НИГГГ-БАН)
- РП.І.9. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления*  
проф. Дончо Карастанев (ГИ-БАН)
- РП.І.10. *Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях*  
проф. Петър Павлов (УАСГ)
- РП.ІІ.1. *Създаване на единна гео-информационна среда*  
доц. Александър Гиков (ИКИТ-БАН)
- РП.ІІ.2. *Международно сътрудничество*  
проф. Димитър Атанасов (НИМХ)
- РП.ІІ.3. *Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (поетапно и след края на програмата)*  
доц. Емил Гачев (ЮЗУ)
- 

## 2023

- РП.І.1. *Регионални/локални характеристики на климата на страната*  
доц. Нели Громкова (НИГГГ-БАН)
- РП.І.2. *Воден баланс и водни ресурси на страната*  
доц. д-р Елена Божилова, НИМХ

- РП.І.3. *Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни)*  
проф. дгн Георги Алексиев (НИГГГ)
- РП.І.4. *Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и Българската икономическа зона на Черно море*  
доц. Галерида Райкова (СУ)
- РП.І.5. *Качеството на живот в страната*  
доц. Елена Христова (НИМХ)
- РП.І.6. *Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото - ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата*  
проф. дбн Марияна Филипова (Природонаучен музей, Варна)
- РП.І.7. *Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда*  
доц. д-р Лидия Сакелариева (ЮЗУ)
- РП.І.8. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления*  
доц. д-р Десислава Вараджакова (НИГГГ-БАН)
- РП.І.9. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления*  
проф. Дончо Карастанев (ГИ-БАН)
- РП.І.10. *Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях*  
проф. Петър Павлов (УАСГ)
- РП.ІІ.1. *Създаване на единна гео-информационна среда*  
доц. Александър Гиков (ИКИТ-БАН)
- РП.ІІ.2. *Международно сътрудничество*  
проф. Димитър Атанасов (НИМХ)
- РП.ІІ.3. *Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (поетапно и след края на програмата)*  
доц. Емил Гачев (ЮЗУ)

-----  
**2024**

- РП.І.1. *Регионални/локални характеристики на климата на страната*  
доц. Нели Громкова (НИГГГ-БАН)
- РП.І.2. *Воден баланс и водни ресурси на страната*  
доц. д-р Елена Божилова, НИМХ

- РП.І.3. *Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни)*  
проф. дгн Георги Алексиев (НИГГГ-БАН)
- РП.І.4. *Процеси, качество на морската среда, екосистемни функции и услуги в крайбрежната зона и Българската икономическа зона на Черно море*  
проф. дбн Марияна Филипова)
- РП.І.5. *Качеството на живот в страната*  
доц. Елена Христова (НИМХ)
- РП.І.6. *Модели на промяна на екосистемите в резултат на катастрофални събития в миналото - ключ към разбиране на настоящи и бъдещи заплахи за планетата*  
проф. дбн Марияна Филипова (Природонаучен музей, Варна)
- РП.І.7. *Биоразнообразие, екосистемни функции и качество на жизнената среда*  
доц. д-р Мирослава Андреева Стефанова (СУ)
- РП.І.8. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални атмосферни и хидросферни явления*  
доц. д-р Десислава Вараджакова (НИГГГ-БАН)
- РП.І.9. *Оценка на опасността от неблагоприятни/катастрофални геоложки (вкл. хидрогеоложки) явления*  
проф. Дончо Карастанев (ГИ-БАН)
- РП.І.10. *Оценка на опасностите от катастрофални земетресения и последствията от тях*  
проф. Петър Павлов (УАСГ)
- РП.ІІ.1. *Създаване на единна гео-информационна среда*  
доц. Александър Гиков (ИКИТ-БАН)
- РП.ІІ.3. *Публично представяне и комуникация на получените научни резултати в обществото (поетапно и след края на програмата)*  
проф. Емил Гачев (ИИКАВ-БАН).